DE

C

Mit antriebstechnischer Formelsammlung

c-line DRIVES

Projektierungs-handbuch

Der leichte Weg zu Ihrer Antriebslösung

LTi

LTi

Projektierungshandbuch c-line DRIVES

Id.-Nr.: 0927.05B.2-00 Blätter für Projektierungshandbuch

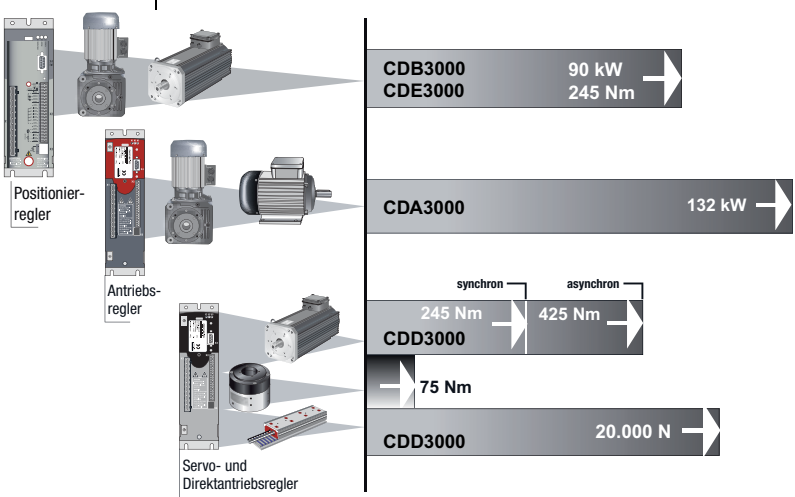
Stand: 02/2014

Technische Änderungen vorbehalten.

c-line Antriebsregler

Das c-line Antriebssystem besteht aus drei Reglerbaureihen. Diese sind:

- Positionierreglerbaureihe CDE/CDB3000 für
  - Asynchron-Normmotoren bis 90 kW
  - Synchron-Servomotoren bis 245 Nm
- Antriebsreglerbaureihe CDA3000 für
  - Asynchron-Normmotoren bis 132 kW
  - Sondermotoren wie Hochfrequenz- oder Reluktanzmotoren
- Servo- und Direktantriebsreglerbaureihen CDD3000 für
  - Asynchron-Servomotoren bis 425 Nm
  - Synchron-Servomotoren bis 245 Nm
  - Hohlwellenmotor bis 75 Nm
  - Linearmotor bis 20.000 N



Im vorliegenden c-line DRIVES Projektierungshandbuch wird nicht auf den 24/48 V DC Servoregler CDF3000 und den HF-Antriebsregler CDS4000 eingegangen.

DE
EN

Zu diesem Buch

Dieses Handbuch richtet sich an Anwender, die sich mit Hintergrundinformationen zum Projektieren von Antriebssystemen auseinandersetzen wollen.
Unter Projektieren versteht man das Auslegen und Gestalten komplexer technischer Systeme bis zum Erhalt des Umsetzungsauftrages. Dabei umfasst die technische Projektiertätigkeit im Allgemeinen das

- ➢ Analysieren der Aufgabenstellung,
- ➢ Konzipieren und Entwerfen des Systems,
- ➢ Auslegen der Komponenten für das System und
- ➢ die Auswahl der besten Lösung, die umgesetzt werden sollte.

In diesem Projektierungshandbuch geht es nicht um ein einzelnes Thema, es ist aus verschiedenen Gedanken gewebt. Nicht alle Gedanken werden neu für Sie sein. Was neu ist, ist das Bild, das sich ergibt, wenn die verschiedenen Gesichtspunkte miteinander verknüpft werden. Dann kommen zu der bekannten Antriebslösung mit einem Mal neue, faszinierende Lösungen hinzu. Probieren Sie es aus.

Konstruktives Feedback

Wir bitten Sie um ein konstruktives Feedback. Schreiben Sie uns, wenn Sie Verbesserungsvorschläge haben, denn „das Bessere ist der Feind des Guten“. Wir werden Ihre wertvollen Anregungen aufgreifen und in der jeweils nächsten Auflage umsetzen.

Bitte richten Sie Ihr Schreiben an:

LTi DRiVES GmbH
Gewerbestraße 5-9
35633 Lahnau

z.Hd. Herrn Joachim Schäfer
e-mail: joachim.schaefer@lt-i.com

Wegweiser durch das Handbuch

1 **Analyse der Aufgabenstellung** 1

2 **Auswahl der Motoren, Geber und Getriebe** 2

3 **Auswahl der Antriebsregler** 3

4 **Auswahl der ergänzenden Komponenten** 4

5 **Information zur Systemgestaltung** 5

6 **Antriebsbestimmung** 6

Anhang: “Praxislexikon“ mit Formelsammlung, Antriebsregler, Motoren, Getriebe, Schutzart und Quellenverzeichnis A

Änderungsdienst

Änderungen von Version:	**0927.05B.0-01**	**Januar 2006**
auf Version:	**0927.05B.1-00**	**September 2006**

Folgende Seiten werden geändert/korrigiert:

Kapitel	Seite(n)	Bemerkung/Thema
UMS_VORN	2	Index hochgezählt
UMS_HINT	2	
Inhaltverzeich-nis	komplett	Seitenzahlen geändert
Vorkapitel		
	Systemübersicht	2000 N in 20.000 N geändert
Kapitel 2		
	Kapitel 2 komplett austauschen	
2.2.3	2-21	Hinweissatz eingefügt
	2-25	Lebensdauer in Lagerlebensdauer geändert
	2-34	Kapitel 2.2 in 2.1 geändert
	2-37 bis 2-41	Text komplett überarbeitet
2.6	2-97	t_1 und t_2 in $t_{2=}$ und t_1 geändert
Kapitel 3		
	Kapitel 3 komplett austauschen	
3.1	3-3	2000 N in 20.000 N geändert
	3-6 bis 3-10	Tabellen hinzugefügt
3.2.6	3-29	ACHTUNG hinzugefügt
3.2.10	3-34	Spannungsangabe geändert
3.2.15	3-41	Zahlen in Tabelle geändert
	3-43	1000 m in 100 m geändert
3.2.22	3-52 bis 3-53	Kapitel hinzugefügt
3.3	3-54 bis 3-96	Seiten hinzugefügt
Kapitel 4		
4.1.1	4-5	Formel geändert
	4-6	Tabelle hinzugefügt, Text geändert
4.2	4-13	Hinweis hinzugefügt
4.5.2	4-26	Berechnung hinzugefügt

Kapitel	Seite(n)	Bemerkung/Thema
Kapitel 6 6.2.3	6-7 bis 6-16	Kapitel hinzugefügt
Anhang A.2.9	A-28	Text und Formeln berichtigt Literatur- und Quellenverzeichnis ergänzt

Inhaltsverzeichnis

1 Analyse der Aufgabenstellung

1.1 Denken im System 1-2
1.1.1 Antriebssystem 1-3
1.1.2 Systemumfeld 1-4

1.2 Prozessanalyse 1-5
1.2.1 Beispiel einer Prozessanalyse im Vergleich zur Funktionsanalyse 1-5

1.3 Kenngrößen von Arbeitsmaschinen 1-10
1.3.1 Bewegungsanforderung 1-10
1.3.2 Trägheitsmoment 1-13
1.3.3 Stellbereich und Genauigkeit 1-14
1.3.4 Moderne Bewegungsführung 1-24
1.3.5 Lastmoment 1-29

1.4 Erfassen der Bewegungsaufgabe 1-33

2 Auswahl der Motoren, Geber und Getriebe

2.1 Allgemeine Gesichtspunkte zur Motorauswahl 2-2
2.1.1 Auswahl eines Motors 2-6

2.2 Auswahl der Standard DS-Motoren 2-7
2.2.1 Kenngrößen von DS-Normmotoren 2-8
2.2.2 Kenngrößen von Asynchron-Servomotoren 2-18
2.2.3 Kenngrößen von LSH-Servomotoren 2-21

2.3 Auswahl von DS-Sondermotoren 2-45
2.3.1 Kenngrößen von Reluktanzmotoren 2-46
2.3.2 Kenngrößen von Synchronmotoren mit Dämpferkäfig 2-50
2.3.3 Kenngrößen von Hochfrequenzmotoren 2-53

2.4 Auswahl von Gebern 2-58
2.4.1 Typenübersicht 2-59
2.4.2 Gebersysteme für die c-line DRIVES 2-73

2.4.3 Projektierung 2-77
2.4.4 Schnittstellen 2-80

2.5 Auswahl von Getrieben 2-83

2.5.1 Auswahl von Standardgetrieben 2-84
2.5.2 Auswahl von Planetengetrieben 2-91

2.6 Auswahl der Motorbremsen 2-94

3 Auswahl der Antriebsregler

3.1 c-line Antriebsregler 3-3

3.1.1 Abnahmen/Umweltbedingungen 3-5
3.1.2 Modulares Kühlkörperkonzept 3-11

3.2 Maßnahmen zu Ihrer Sicherheit 3-13

3.2.1 Bestimmungsgemäße Verwendung 3-14
3.2.2 Netzbedingung 3-16
3.2.3 Betrieb am IT-Netz 3-20
3.2.4 Belastung des Versorgungsnetzes 3-23
3.2.5 Allgemeines zu den Leistungsanschlüssen 3-24
3.2.6 cUL-Abnahme 3-27
3.2.7 Betrieb am FI-Schutzschalter 3-31
3.2.8 Ableitströme 3-32
3.2.9 Schalten im Netzeingang 3-34
3.2.10 Hochspannungstest/Isolationsprüfung 3-34
3.2.11 Formieren der Zwischenkreiskondensatoren 3-35
3.2.12 Drehsinn und Anschlussbezeichnung 3-38
3.2.13 Schalten im Antriebsreglerausgang 3-39
3.2.14 Kurz- und Erdschlussfestigkeit 3-41
3.2.15 Motorkabellänge, Strom- und Spannungsverluste 3-42
3.2.16 Spannungsbelastung der Motorwicklung 3-45
3.2.17 Motorschutzmöglichkeiten 3-46
3.2.18 Lagerbeanspruchung bei Antriebsreglerbetrieb ..3-47
3.2.19 Berechnung der effektiven Antriebsreglerauslastung 3-48
3.2.20 Messen am Antriebsregler 3-50
3.2.21 DC-Verbundbetrieb (ZK-Kopplung) 3-52

3.2.22 Berechnung der Dauerbrems-leistung von Antriebsreglern mit internem Bremswiderstand .3-53

3.3 c-line Feldbusse 3-55

3.3.1 Übersicht zu den Feldbussen 3-55
3.3.2 CAN-Grundlagen 3-56
3.3.3 CANopen-Profile 3-69
3.3.4 PROFIBUS-DP Grundlagen 3-84
3.3.5 Inbetriebnahme Antriebsregler an PRROFIBUS/S7 3-92

3.4 c-line Antriebsreglersystem CDA3000 3-98

3.4.1 Strombelastbarkeit der Antriebsregler CDA3000 3-98
3.4.2 Projektieren von Drehstrommotoren 3-101
3.4.3 Leistungsfähigkeit der Motorregelverfahren des CDA3000 3-104
3.4.4 Standard-Antriebsreglerbetrieb 3-109
3.4.5 70 Hz-Kennlinie mit 25 % Feldschwächung 3-111
3.4.6 87 Hz-Kennlinie/Erweiterter Stellbereich 3-115
3.4.7 Mehrmotorenantrieb an einem Antriebsregler ..3-118
3.4.8 Drehgeberauswahl für FOR-Betrieb mit CDA3000 3-121
3.4.9 Programmierbeispiele für Anwendungen mit CDA3000-PLC 3-127
3.4.10 Geringe Motorverluste durch CDA3000 mit Hochfrequenz-PWM 3-144

3.5 c-line Positionierregler CDE/CDB3000 3-146

3.5.1 Strombelastbarkeit der Positionierregler CDE/ CDB3000 3-146

3.6 c-line Servo- und Direktantriebsregler CDD3000 3-150

3.6.1 Strombelastbarkeit der Servo- und Direktantriebsregler 3-150

4 Auswahl der ergänzenden Komponenten

4.1 Auswahl der Netzdrossel 4-2
4.1.1 Nutzen einer dreiphasigen Netzdrossel 4-4
4.1.2 Netzdrossel zur Einhaltung der EN 61000-3-2 4-7
4.2 Auswahl der Bremswiderstände 4-8
4.3 Auswahl der Netzfilter 4-14
4.3.1 Zulässige Motorleitungslänge mit internem Funkentstörfilter 4-14
4.3.2 Zulässige Motorleitungslänge mit externem Funkentstörfilter 4-16
4.4 Auswahl der Motordrossel 4-19
4.4.1 Technische Daten 4-19
4.4.2 Erweiterte Projektierungsregel 4-20
4.5 Auswahl der Motorfilter 4-22
4.5.1 Technische Daten 4-22
4.5.2 Erweiterte Projektierung 4-24

5 Information zur Systemgestaltung

5.1 Wärmeabführung aus dem Schaltschrank 5-3
5.1.1 Grundbegriffe für die Berechnung 5-3
5.1.2 Effektive Schaltschrank-oberfläche 5-5
5.1.3 Berechnung der Filterlüfter 5-7
5.1.4 Berechnung der Wärmetauscher 5-8
5.2 Wärmeübertragung durch Wärmeleitung 5-9
5.2.1 Berechnungsbeispiel mit CDA34.014, C (Cold Plate) 5-11
5.3 Netzrückwirkungen von elektrischen Antrieben .5-16
5.3.1 Reduzierung der Netzrückwirkung 5-20
5.4 Blindstromkompensationsanlagen in Elektroenergienetzen mit nichtlinearen Lasten ...5-22
5.4.1 Resonanzfrequenz in Elektroenergie-netzen 5-24

5.5 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) und elektrische Antriebe 5-27
5.5.1 EMV-Normung elektrischer Antriebe 5-28
5.5.2 Grenzkurve für elektrische Antriebe (PDS) 5-35
5.5.3 Typischer Messaufbau für die Abnahme von elektrischen Antrieben 5-36
5.5.4 Aufbaurichtlinien für Schaltschränke 5-42
5.5.5 Sechzehn Maßnahmen zur EMV nach DIN VDE 0100 Teil 440 5-44

5.6 Sicherheitstechnik für Maschinen mit elektrischen Antrieben 5-46
5.6.1 Richtlinien und EN-Normengruppe 5-49
5.6.2 Gefahrenanalyse und Risikominderung 5-51
5.6.3 „Sicherer Halt“ nach EN 954-1 Kategorie 3 5-53
5.6.4 Sicherheitsfunktionen für Bewegungsführung 5-64
5.6.5 Anwendung der zukünftigen EN ISO 13849-1 (EN 954-1) und EN IEC 62061 5-68

5.7 Antriebsreglergespeiste elektrische Antriebe im explosionsgefährdeten Bereich 5-77
5.7.1 Motoren der Zündschutzart „d“ 5-78
5.7.2 Zündschutzmaßnahmen 5-80

5.8 Fehlerstromüberwachung in elektrischen Anlagen mit elektrischen Antriebssystemen 5-83
5.8.1 Grundsätzliches Messverfahren von FI-Schutzschaltern bzw. RCM/RCD (Typ A) 5-85
5.8.2 Allstromsensitive FI-Überwachung (RCM, Typ B) in geerdeten Systemen 5-85
5.8.3 Allstromsensitive Differenzstromüberwachung in Personen- und Lastaufzügen 5-88

6 Antriebsbestimmung

6.1 Antriebsbestimmung über Leistungsauslegung 6-2
6.1.1 Fahrantrieb 6-3
6.1.2 Hubantrieb 6-5

A Praxislexikon

A.1 Mathematische Zeichen A-3
A.1.1 SI-Einheiten A-3
A.1.2 Wichtige Einheiten A-5

A.2 Antriebstechnische Gleichungen A-6
A.2.1 Physikalische Grundgleichungen A-6
A.2.2 Leistung A-7
A.2.3 Drehmomente A-12
A.2.4 Arbeit A-13
A.2.5 Reibung A-15
A.2.6 Effektives Motormoment/Leistung A-16
A.2.7 Wahl der max. Beschleunigung A-19
A.2.8 Massenträgheitsmomente A-22
A.2.9 Optimale Getriebeübersetzung A-28
A.2.10 v/t-Diagramm A-29
A.2.11 Wirkungsgrade, Reibwerte und Dichte A-32
A.2.12 Bestimmung von Querkräften A-36
A.2.13 Spartransformator A-37
A.2.14 Netzdrossel A-38

A.3 Antriebsregler A-39
A.3.1 u/f-Kennliniensteuerung/-regelung A-39
A.3.2 Grundprinzip der sensorlosen Drehzahl (SFC) A-44
A.3.3 Momentbildung von Synchron- und Asynchronmotoren A-45
A.3.4 Regelungstechnikgrundlagen A-48
A.3.5 Grundprinzip der Moment-, Drehzahl- und Lageregelung A-58
A.3.6 DC-Verbundbetrieb A-63

A.4 Motoren A-67
A.4.1 Wärmeklassen von Elektromotoren A-67
A.4.2 Farbkennzeichnung eines Schwellwert PTC's nach DIN 44081 ..... A-69
A.4.3 Linear PTC KTY-130-gel A-72
A.4.4 Motorschutzmöglichkeiten A-73
A.4.5 Typische Motordaten von DS-Normmotoren A-74
A.4.6 Typische Motordaten von Asynchron-

Servomotoren A-77
A.4.7 Übersicht der Motordaten von Synchron-Servomotoren (LSH) A-79
A.4.8 Typische Motordaten von EUSAS - Systemmotoren A-80
A.4.9 Typische Motordaten von schlanken Drehstrommotoren aus Alustrangpress-profil A-85
A.4.10 Neue Anschluss-kennzeichnungen für drehende elektrische Maschinen A-87

A.5 Schutzart A-91
A.5.1 Schutzart/IP-Code nach IEC/EN A-91
A.5.2 Schutzart nach EEMAC und Nema A-98
A.5.3 Kabelverschraubungen mit PG/Metrische Gewinde A-100
A.5.4 Außendurchmesser von Leitungen und Kabel ... A-101
A.5.5 Strombelastbarkeit von PVC-isolierten Kupferleitungen A-103
A.5.6 Farbkodierung für Drucktaster/Bedienteile A-105
A.5.7 Farben von Leuchtmeldern A-106
A.5.8 Genormte Querschnitte von runden Leitern (ISO/AWG) A-107

B Praktische Arbeitshilfen für den Projekteur

C Literatur- und Quellenverzeichnis

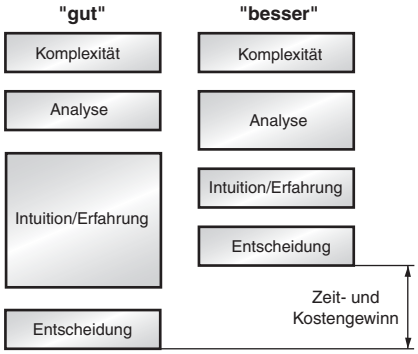
D Stichwortverzeichnis

1 Analyse der Aufgabenstellung

1.1 Denken im System 1-2
1.1.1 Antriebssystem 1-3
1.1.2 Systemumfeld 1-4
1.2 Prozessanalyse 1-5
1.2.1 Beispiel einer Prozessanalyse im Vergleich zur Funktionsanalyse 1-5
1.3 Kenngrößen von Arbeitsmaschinen 1-10
1.3.1 Bewegungsanforderung 1-10
1.3.2 Trägheitsmoment 1-13
1.3.3 Stellbereich und Genauigkeit 1-14
1.3.4 Moderne Bewegungsführung 1-24
1.3.5 Lastmoment 1-29
1.4 Erfassen der Bewegungsaufgabe 1-33

Nehmen Sie sich am Anfang etwas mehr Zeit!

Bitte beachten Sie! Je größer die Komplexität der Aufgabe, um so wichtiger ist die Analyse. Durch eine „bessere“ Analyse können drohende Misserfolge frühzeitig erkannt werden.



1.1 Denken im System

Anderes Denken [führt zu] Glauben daran [das wiederum bewirkt] anderes Handeln.

Bevor Sie die Projektierung beginnen, sollten Sie sich mit dem Inhalt dieses Kapitels auseinandersetzen - denn es hat das Ziel, Ihnen aufzuzeigen, wie man zu neuen Lösungen kommt.

Was können wir aus der Systembetrachtung lernen? Unter einem System versteht man:

- ➢ eine gegenüber der Umwelt abgegrenzte Ganzheit,
- ➢ bestehend aus einzelnen Elementen,
- ➢ zwischen denen festgelegte Beziehungen existieren
- ➢ und die bestimmte Funktionen erfüllen.

Ausgangspunkt aller Systembetrachtung ist das Erfassen, Verstehen und Ordnen der in einem System bestehenden Beziehungen. Dazu wird das System soweit in seine Teilbereiche (Komponenten) zerlegt, dass alle Einzelkomponenten voneinander abgegrenzt sind und die Beziehung zwischen den Komponenten sichtbar wird.

1.1.1 Antriebssystem

Ein Antriebssystem besteht aus den Einzelkomponenten bzw. Modulen:

- Leistungsmodul
- Bedienmodul
- Anwendermodul
- Kommunikationsmodul
- Softwaremodule
- Netzdrossel
- Netzfilter
- Motordrossel
- Bremswiderstand
- Kabel
- Motoren
- Getriebe
- usw.

Die Kette ist nur so stark wie das schwächste Glied.

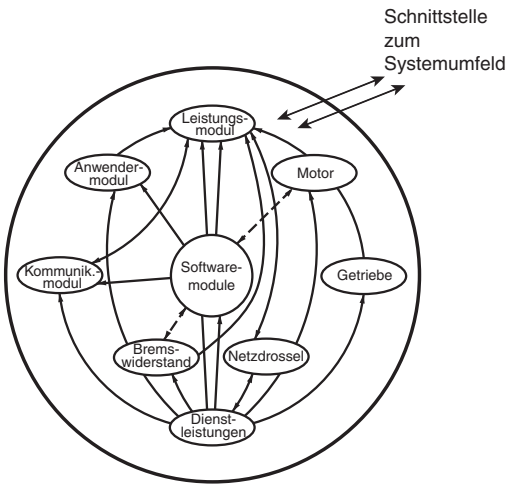


Bild 1.1 Antriebssystem

Fazit

Ein Antriebssystem ist eine Kombination von eigenständigen Produkten und Dienstleistungen, die neue nutzbare Antriebssystemeigenschaften mit höherwertigem Nutzen erzeugen.

1.1.2 Systemumfeld

Analysiert man das Systemumfeld von Antriebssystemen, so kommt man zu vier Schnittstellen, die das Systemumfeld beschreiben:

1. Schnittstelle zum Verarbeitungsprozess
2. Schnittstelle zum Automatisierungsprozess
3. Schnittstelle zur Umwelt und Installationsumgebung
4. Schnittstelle zu den Anforderungen aus Normen, Vorschriften und Sicherheit

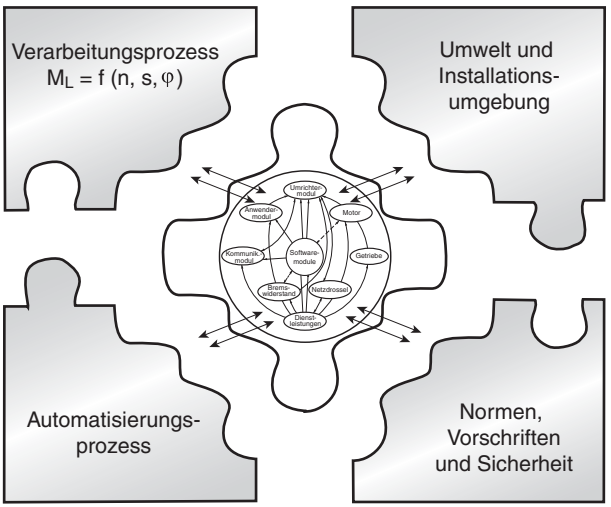


Bild 1.2 Systemumfeld

In diesem Kapitel wird auf die Schnittstelle zum „Verarbeitungsprozess“ eingegangen, die anderen Schnittstellen werden in den weiteren Kapiteln des Handbuches behandelt.

1.2 Prozessanalyse

Hinterfragen Sie als erstes den Verarbeitungsprozess[1], für den die Antriebslösung eingesetzt werden soll. Verwenden Sie dazu das Verfahren der Prozessanalyse, denn die Prozessanalyse erlaubt Ihnen die lösungsneutrale Sichtweise auf die Aufgabenstellung.

Machen Sie zu Beginn einer Analyse **keine Funktionsanalyse**, denn die verwendeten Funktionen beschreiben immer die konkrete Lösung.

Wenn Sie eine neue Lösung finden wollen, sollten Sie eine Prozessanalyse durchführen.

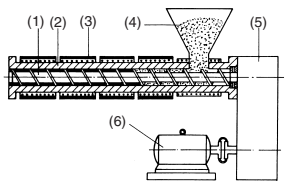
Die Funktionsanalyse wurde aus der Wertanalyse[2] abgeleitet. Sie dient im Wesentlichen dazu, Doppelfunktionen zu eliminieren und die Kosten pro Funktion zu reduzieren.

1.2.1 Beispiel einer Prozessanalyse im Vergleich zur Funktionsanalyse

Standard-Schnecken-Extruder

➢ Ein Extruder ist eine Maschine, die feste bis flüssige Formmassen (Kunststoff) aufnimmt und aus einer Öffnung, vorwiegend kontinuierlich, auspresst.
Dabei verdichtet, mischt, plastifiziert und homogenisiert er die Formmasse.

Der dargestellte Schnecken-Extruder (siehe Bild 1.3) besteht hauptsächlich aus einer Antriebseinheit und einer Plastifizierungseinheit. Die Plastifizierungseinheit besteht aus Schneckenzylinder, Schnecke, Materialtrichter sowie Heiz- und Kühlzone.

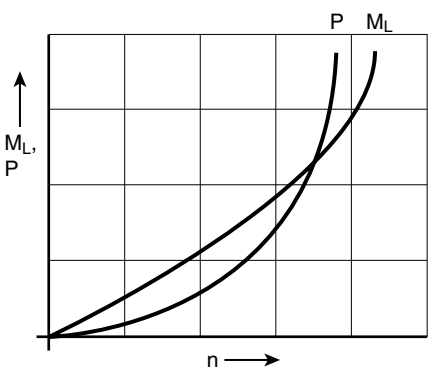


(1)	Schnecke	(4)	Trichter
(2)	Zylinder	(5)	Getriebe
(3)	Heizung	(6)	Motor

Bild 1.3 Schema eines Extruders

1. Verarbeitungsprozess: Ablauf eines Vorgangs, währenddessen Energie, Information und/oder Materie umgeformt und transportiert wird.
2. Das Verfahren der Wertanalyse wurde 1948 in der Einkaufsabteilung der Firma General Electric entwickelt. Literatur: DIN 69910 und VDI 2801.

Den Antrieb bilden ein geregelter Gleichstromantrieb, Getriebe und das Schneckenrückdrucklager, welches die Aufnahme der beim Fördern und Plastifizieren auftretenden Kräfte übernimmt.

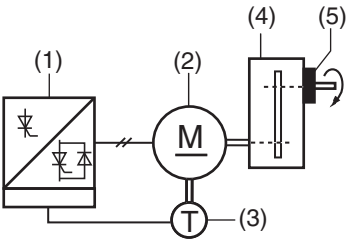


M_L = f (n)
P = f (n)

Bild 1.4 Lastkennlinie des Kunststoffextruders

Aufgabenstellung für eine neue Antriebseinheit

Um eine höhere Verfügbarkeit der Maschine zu erreichen, soll von Gleichstromantrieb auf Drehstromantrieb umgestellt werden. Der bis dato eingesetzte Gleichstromantrieb hat einen Drehzahlstellbereich von 1:1000 und ist auf 200 % überlastbar.



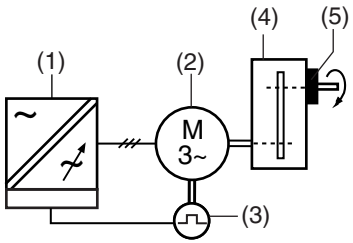
(1) Gleichstromregler
(2) DC-Motor
(3) Tacho
(4) Getriebe
(5) Schneckenrückdrucklager

Bild 1.5 Alte Lösung mit Gleichstromantrieb

Funktionsanalyse

Bei einer Funktionsanalyse muss nur jedes Bauteil, welches eine Funktion erfüllt, durch ein anderes ersetzt werden. In unserem Fall bedeutet dies:

- dass der DC-Motor durch einen AC-Motor ersetzt wird,
- der Tacho durch einen Drehgeber und
- der Gleichstromregler durch einen Antriebsregler mit feldorientierter Regelung ersetzt wird.



(1) Antriebsregler mit feldorientierter Regelung
(2) AC-Motor
(3) Drehgeber
(4) Getriebe
(5) Schneckenrückdrucklager

Bild 1.6 Lösung aus der Funktionsanalyse

Aus der Funktionsanalyse ergibt sich eine Lösung mit Drehzahlrückführung, siehe Tabelle 1.1.

Gleichstromantrieb	Drehstromantrieb
1 Gleichstromregler	1 Antriebsregler mit feldorientierter Regelung
2 DC-Motor	2 AC-Motor
3 Tacho	3 Drehgeber
4 Getriebe	4 Getriebe
5 Schneckenrückdrucklager	5 Schneckenrückdrucklager
Alte Lösung	**Funktionsanalyse (NEU 1)**

Tabelle 1.1 Vergleich zwischen alter Lösung und der Lösung aus der Funktionsanalyse

Prozessanalyse

Bei einer Prozessanalyse wird hinterfragt, welche Anforderung der Verarbeitungsprozess an den Antrieb stellt.

Fragen, die zu klären sind:

1. Welche verarbeitungstechnische Bewegungsanforderung ist zu lösen?
2. Welches Trägheitsmoment der Verarbeitungsmaschine, bezogen auf die Motorwelle liegt vor?
3. Welcher Stellbereich wird für den Verarbeitungsprozess benötigt?
4. Welches Lastmoment ist zu überwinden?

Antworten auf die Fragen in diesem Beispiel:

1. Kontinuierlicher Stoffffluss.
2. Hat keine Bedeutung bei Anwendungen mit ständigem Stoffffluss.
3. Drehzahlstellbereich von 1:10.
4. Keine Überlast notwendig, da die Schnecke des Extruders sonst Schaden nehmen würde. Wenn die Schnecke sich festgesetzt hat, wird sie zur Reinigung nach vorne aus dem Extruder gezogen.

Aus den Antworten der Prozessanalyse ergibt sich eine Lösung mit Standard-Antriebsregler ohne Drehzahlrückführung. Das bedeutet eine deutliche Kostenreduktion.

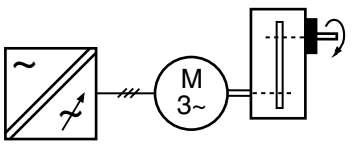


Bild 1.7 Lösung aus der Prozessanalyse

Lösungsvergleich: „Funktionsanalyse zu Prozessanalyse“

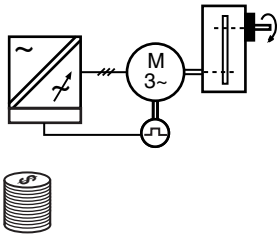
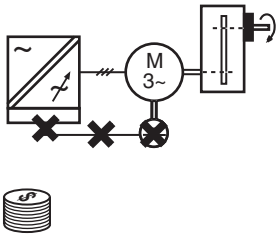
Lösung aus der Funktionsanalyse	Lösung aus der Prozessanalyse
	
NEU 1 **Antriebsregler mit feldorientierter Regelung**	**NEU 2** **Antriebsregler u/f-Steuerung**

Bild 1.8 Lösungsvergleich

Fazit

Hinterfragen Sie immer den Verarbeitungsprozess!
Denn das *Bekannte* ist deshalb, weil es bekannt ist, noch lange nicht *erkannt*!

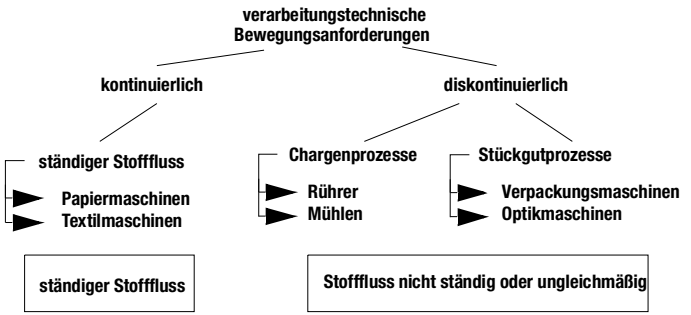
1.3 Kenngrößen von Arbeitsmaschinen

Für die Antriebsprojektierung brauchen Sie in der Regel nicht die Feinstruktur der Arbeitsmaschinen zu berücksichtigen. Sie lässt sich ausreichend beschreiben durch:

1. die verarbeitungstechnische Bewegungsanforderung
2. das Trägheitsmoment der Verarbeitungsmaschine, bezogen auf die Motorwelle
3. den Stellbereich und Genauigkeit von Moment, Drehzahl und Position
4. den zeitlichen Verlauf des Lastmoments

1.3.1 Bewegungsanforderung

Die verarbeitungstechnische Bewegungsanforderung teilt man grob in drei Gruppen ein.



Antriebs- und Mechanikfunktion

Die Bewegungslösung im Verarbeitungsprozess besteht in den meisten Fällen aus einer Antriebs- und einer Mechanikfunktion. Die Mechanikfunktion erzeugt dabei meistens eine nicht-lineare Bewegung. Der Verarbeitungsprozess setzt dieser Bewegung ein bestimmtes Lastmoment entgegen.

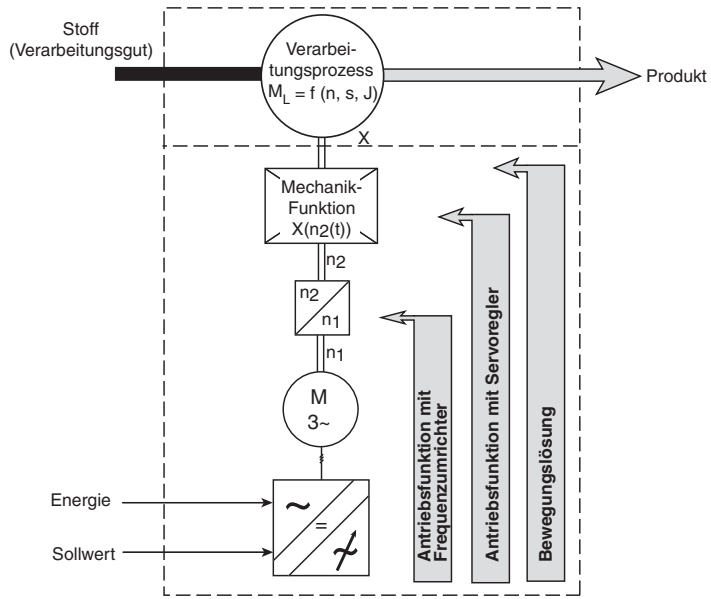


Bild 1.9 Bewegungslösung am Verarbeitungsprozess

Die Lösung von Mechanikfunktionen (Bewegungsaufgaben) mit Getrieben, wird in den Konstruktionskatalogen der VDI 2727 beschrieben. Elektronisch koordinierte Bewegungsabläufe mit Positionierregler und Servoregler mit Kurvenscheibenfunktion ersetzen immer stärker die klassischen synchronen Mechanikfunktionen. Das Bewegungsgesetz für Kurvenscheiben wird in der VDI 2143 beschrieben.

Beispiel einer Bewegungslösung

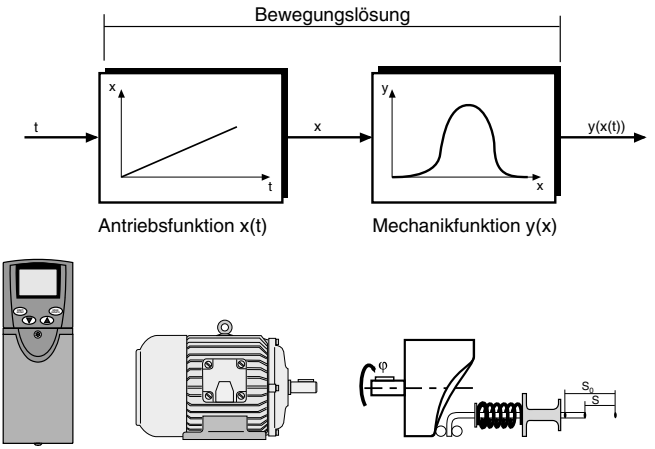


Bild 1.10 Bewegungslösung getrennt in Antriebs- und Mechanikfunktion

v/t-Diagramm

Der Bearbeitungszyklus einer Maschine oder Anlage wird typisch durch das Geschwindigkeits-/Zeitprofil, auch v/t-Diagramm genannt, beschrieben. Aus diesem Diagramm kann dann die Beschleunigungs-/Verzögerungszeit und die Anlauf- bzw. Stillsetzhäufigkeit ermittelt werden. Diese Wiederholfrequenz des Anlauf- und Stillsetzvorgangs bestimmt die

- Motorbemessung

$$M_{eff} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 + M_n^2 \cdot t_n}{T}}$$

- Strombelastung des Antriebsreglers

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + I_n^2 \cdot t_n}{T}}$$

- und die Bremschopperauslegung

$$P_D = \frac{\text{Einschaltdauer [s]}}{\text{Zykluszeit [s]}} \cdot \text{Spitzenbremsleistung [w]}$$

Weiteres zum Thema v/t-Diagramm und Berechnung von Effektivwerten können Sie der Formelsammlung im Anhang entnehmen.

1.3.2 Trägheitsmoment

Das Trägheitsmoment einer Arbeitsmaschine bzw. eines Bearbeitungsprozesses, will man möglichst niedrig halten. Allerdings ist der Bemessungsspielraum durch den Zwang der technologischen Optimierung sehr gering.

Das Trägheitsmoment von Motoren hat bei häufigen und schnellen Drehzahländerungen eine hohe Bedeutung für die gesamte Antriebsauslegung. Dagegen hat bei Rotationsantrieben, wie z. B. einer Zuckerzentrifuge oder einem kontinuierlich laufenden Wickelantrieb, eine Verkleinerung des Motorträgheitsmomentes so gut wie keine Auswirkung auf die Gesamtantriebsauslegung.

Weiteres zu diesem Thema können Sie der Formelsammlung, Kapitel A.2.8 und dem Kapitel 2, entnehmen.

1.3.3 Stellbereich und Genauigkeit

Die gewünschte Momentanregelzeit, der Drehzahlstellbereich und die Positioniergenauigkeit werden ebenfalls durch den technologischen Verarbeitungsprozess bestimmt.

Nachfolgend werden einige Begriffe etwas näher definiert, damit keine Mißverständnisse zwischen dem Kunden - also Ihnen - und dem Antriebshersteller - also uns - entstehen.

Drehmoment

Allgemeine Bewegungsgleichung:

$$J \frac{d\omega}{dt} = m_a - m_L$$

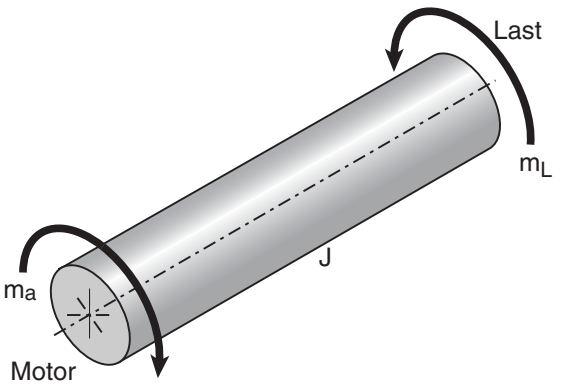


Bild 1.11 Drehmoment

- Die Differenz aus Antriebs- und Lastmoment beschleunigt die Massenträgheit J mit $\frac{d\omega}{dt}$
- Ausgehend vom Stillstand gilt:
  $m_a > m_L$ ➠ Rechtslauf
  $m_a < m_L$ ➠ Linkslauf
  $m_a = m_L$ ➠ Stillstand
- Ist $m_a > m_L$, so beschleunigt der Antrieb so lange, bis $m_a = m_L$ ist. Die maximal erreichbare Geschwindigkeit wird begrenzt durch
  - die Spannungsgrenze des Antriebsreglers, d.h. bei hohen Drehzahlen fehlt die Spannung, um das Antriebsmoment erzeugen zu können und
  - das mit der Drehzahl steigende Lastmoment (z. B. Reibung).

Genauigkeit einer Drehmomentregelung mit Asynchronmaschine

Das Drehmoment der Asynchronmaschine ist abhängig von einigen Maschinenparametern, die wiederum zum Teil temperaturabhängig sind. Die stationäre relative Genauigkeit der Drehmomentregelung beträgt daher ca. ±10%. Das Drehmoment driftet infolge von Temperaturschwankungen um ca. ±1% rel.

Genauigkeit einer Drehmomentregelung mit Synchronmaschine

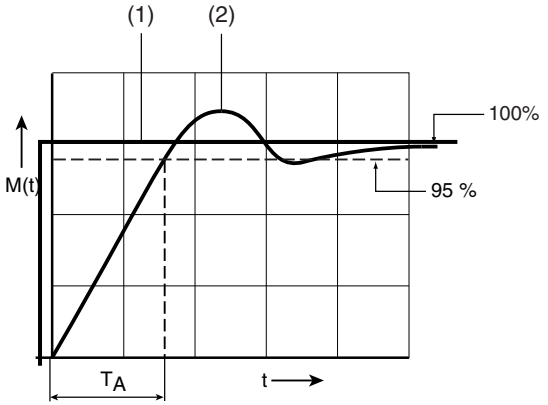
Das Drehmoment der Synchronmaschine ist außer von drehmomentbildendem Strom nur von konstanten Maschinenparametern abhängig. Die stationäre relative Genauigkeit beträgt ca. ±2%. Das Drehmoment driftet nicht.

Bei analoger Drehmomentvorgabe ist zusätzlich der Drift des analogen Sollwerteingangs zu beachten.

Drehmomentanregelzeit

Die Drehmomentanregelzeit ist die Zeit, die nach einem Sollwertsprung von 0 auf M_N vergeht, bis der Istwert des Drehmomentes im Motor 95% des Nennwertes erreicht hat.

Die Drehmomentanregelzeit ist abhängig vom verwendeten Regelverfahren und den elektrischen Parametern des eingesetzten Motors. Mit zunehmender Drehzahl nimmt die Spannungsreserve zum Einprägen eines Stromes ab, wodurch die Drehmomentanregelzeit zunimmt.



T_A= Drehmomentanregelzeit
(1) Sollwert (2) Istwert

Bild 1.12 Drehmomentanregelzeit

Drehzahlstellbereich

Der Drehzahlstellbereich ist der Drehzahlbereich, in dem der Motor immer Nennmoment abgeben kann.

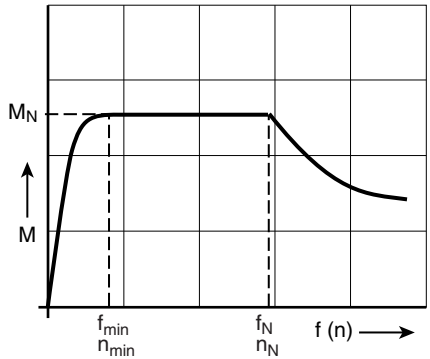


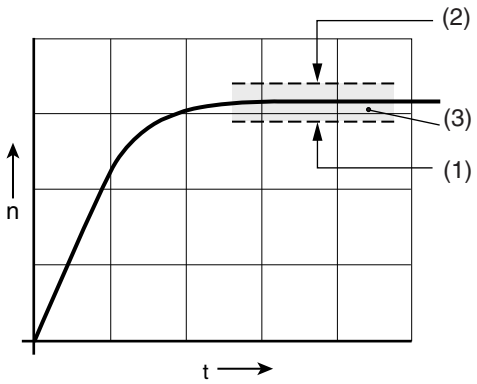
Bild 1.13 Drehzahlstellbereich

$$\text{Stellbereich} = \frac{f_N}{f_{min}} = \frac{n_N}{n_{min}}$$

f_N	Nennfrequenz in Hz
f_{min}	Minimalfrequenz in Hz
n_N	Nenndrehzahl in 1/min
n_{min}	Minimaldrehzahl in 1/min

Stationäre Drehzahlgenauigkeit

Bei der stationären Drehzahlgenauigkeit spricht man von der Drehzahlabweichung im eingeschwungenen Zustand nach Beendigung des Anlaufs.



(1) Untere Grenze
(2) Obere Grenze
(3) Bereich der Abweichung

Bild 1.14 Statische Drehzahlgenauigkeit

Bei Betrieb mit Drehzahlregelung (mit Geberrückführung) ist der Motordrehzahl eine hochfrequente Welligkeit überlagert. Die Frequenz der Welligkeit hängt vom Abtastraster des Drehzahlreglers ab. Die Amplitude dieser Welligkeit ist abhängig vom verwendeten Gebersystem und dem Massenträgheitssystem (Anwendung und Motor). Typische Werte sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengestellt.

Geber	Regler	Periode/ UPM Geber	Periode/UPM Interpolation im Regler	Messgenau-igkeit der Lage im Regler	Typische Messgenauigkeit von Gebersystemen	Genauigkeit der Drehzahlregelung (16bit-Auflösung)	Typische Amplitude der hochfrequenten Drehzahlgenauigkeit
Resolver	CDD/ CDE	1	16000	+/- 1’	+/- 20’	stationär/quarzgenau 1)	+/- 20 min^{-1} 2)
Resolver	CDD/ CDE	3	49152	+/- 0,3’	+/- 10’	stationär/quarzgenau 1)	+/- 10 min^{-1} 2)
sin/cos-Geber	CDD	2048	33 Mio.	+/- 0,5“	+/- 20“	stationär/quarzgenau 1)	+/- 2 min^{-1} 2)
HTL-Geber	CDA	2048	8192	+/- 2,5’	+/- 2,5’	stationär/quarzgenau 1)	+/- 20 min^{-1} 2)
HTL/TTL	CDB	2048	8192	+/- 2,5’	+/- 2,5’	stationär/quarzgenau 1)	+/- 20 min^{-1} 2)

1) Gibt man zwei c-line DRIVES den gleichen digitalen Drehzahlsollwert vor, so driften ihre Achsen auseinander, wie die Sekundenzeiger zweier Quarzuhren (ca. 1 °/h). Dieses Verhalten ist unabhängig vom Gebersystem.

2) Die Istdrehzahl besitzt eine hochfrequente Drehzahlwelligkeit, entsprechend dem Abtastraster der Drehzahlregelung (CDD/8kHz, CDA/4kHz). Die Amplitude der Welligkeit ist abhängig vom verwendeten Drehgebertyp, Massenträgheitsmoment und dem P-Anteil des Drehgebers.

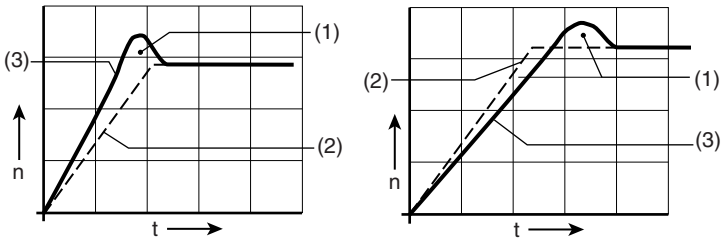
HINWEIS: Der Altgrad wird in Minuten (1° = 60’) und Sekunden (1’ = 60“) unterteilt.

Tabelle 1.2 Typische Genauigkeit der Drehzahlregelung in Abhängigkeit der Gebersysteme

Weiteres zum Thema Genauigkeit können Sie dem Kapitel 2.4 entnehmen.

Dynamische Drehzahlgenauigkeit

Bei der dynamischen Drehzahlgenauigkeit spricht man von der Drehzahlabweichung während des Anlauf- oder Bremsvorgangs einer Drehzahländerung. Die größte Abweichung entsteht sehr oft beim Einschwingvorgang auf die gewünschte Drehzahl.



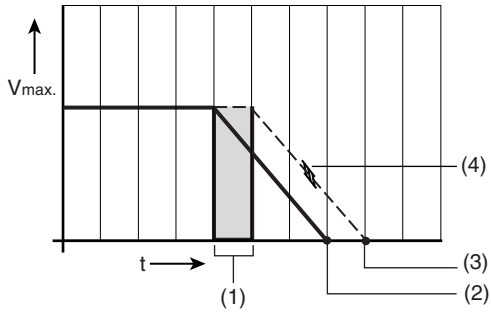
(1) dynamische Abweichung
(2) Sollwert
(3) Istwert

(1) dynamische Abweichung
(2) Sollwert
(3) Istwert

Bild 1.15 Dynamische Drehzahlgenauigkeit

Positioniergenauigkeit ohne Lageregelung (Start-Stopp-Betrieb)

Bei der Positioniergenauigkeit spricht man von der Positionsabweichung im Stillstand. Die Größe der Abweichung wird maßgebend durch die Reaktionszeiten von Steuerung und Antriebsregler mitbestimmt.



$S_F = V_{max} \cdot t_{RF}$

S_F = Positionierfehler in mm

V_{max} = Geschwindigkeit in mm/s

t_{RF} = Reaktionsfehler (Klemmen-Abfragezyklus in s)

(1) Abfragezyklus der Steuerklemmen am Antriebsregler (t_{RF}=Reaktionsfehler)
(2) Zielposition 1 (Stoppsignal kommt zugleich mit dem Einlesevorgang der Steuersignale am Antriebsregler)
(3) Zielposition 2 (Stoppsignal kommt direkt nach dem Einlesevorgang der Steuersignale am Antriebsregler)
(4) Schlupfbereich (je nach Regelungsart ist die Bremsrampe schlupfabhängig)

Bild 1.16 Start-/Stopppositionierung

Die Positionier- und Wiederholgenauigkeit hängt natürlich noch von weiteren Faktoren wie:

- ➢ Realisierung der Mechanikfunktion
- ➢ mechanisches System des Messwertaufnehmers
- ➢ eingesetztes Getriebe
- ➢ konstante Reaktionszeit der Steuerung
- ➢ Messwertauflösung aus Positionsgeber usw.

ab.

Eine genaue Betrachtung ist nur im Einzelfall möglich.

Positioniergenauigkeit mit Lageregelung in der Steuerung

Bei einer Positionierung mit Lageregelung in der Steuerung ist die Positioniergenauigkeit abhängig vom Gebersystem und der Qualität der Lageregelung.

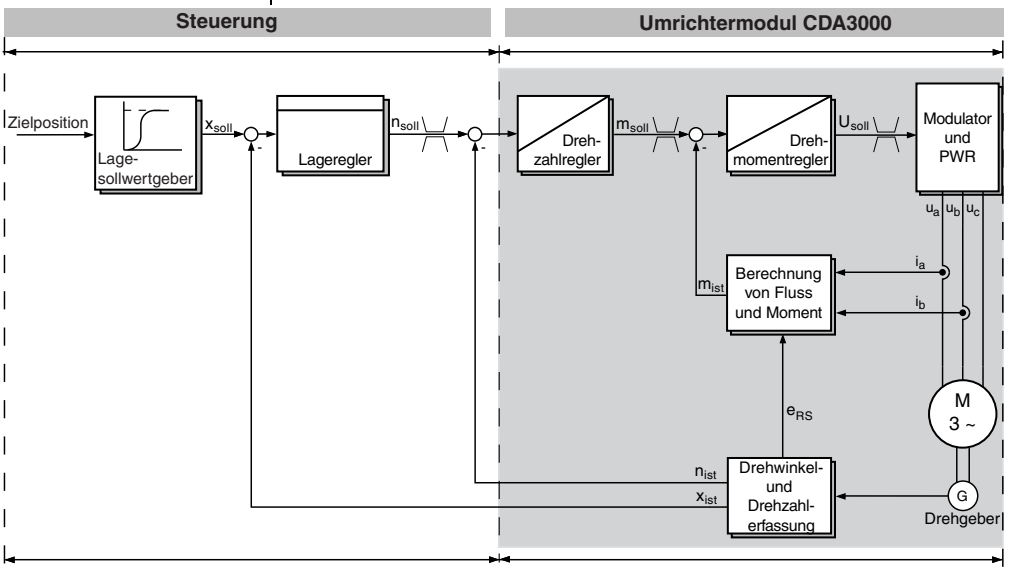


Bild 1.17 Positionierung mit Sollwertgeber und Lageregelung in der Steuerung

Lagesollwertgeber

Der Sollwertgeber erzeugt den zeitlichen Verlauf der Sollposition.

Lageregler

Der Lageregler sorgt dafür, dass die Sollposition so gut wie möglich eingehalten wird.

Drehzahlregler

Der Drehzahlregler seinerseits sorgt dafür, dass die Solldrehzahl des Motors eingehalten wird.

- Die Vorgabe des Drehzahlsollwerts kann über +10 V bis -10 V oder über CAN bzw. PROFIBUS erfolgen.

Positioniergenauigkeit mit Lageregelung im Antriebsregler/Servoregler

Auch bei einer Positionierung mit Lageregler im Regler, ist die Positioniergenauigkeit abhängig vom Gebersystem und der Qualität der Lageregelung.

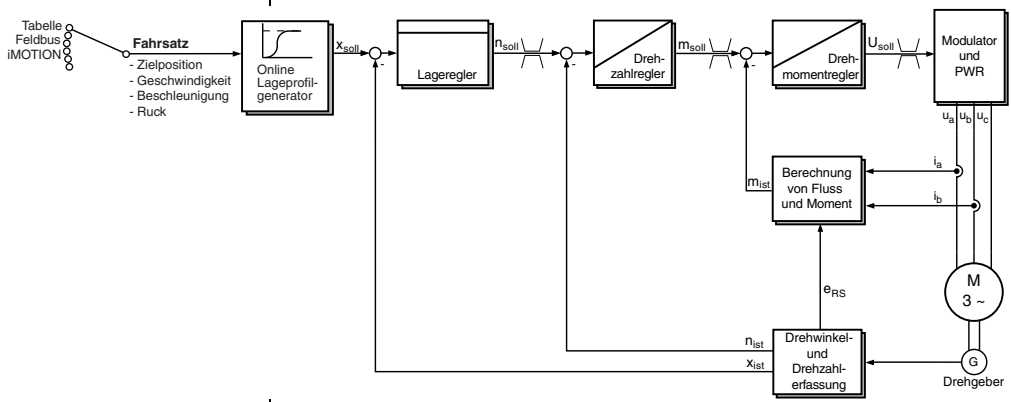


Bild 1.18 Grundprinzip der Lageregelung im c-line Antriebsregler

Typische Genauigkeit der Lageregelung in Abhängigkeit vom Gebersystem

Messsystem	Periode/UPM Geber	Inkr./Umdr.	Positioniergenauigkeit absolut/Wiederholung
Resolver	3	4900	±10’
sin/cos-Geber	2048	33 Mio.	±20“
HTL/TTL-Geber	1024	4096	±5’
HTL-Geber	2048	8192	±2,5’

HINWEIS: Der Altgrad wird in Minuten (1° = 60’) und Sekunden (1’ = 60“) unterteilt.

Tabelle 1.3 Typische Genauigkeit der Lageregelung in Abhängigkeit vom Gebersystem

Fazit

Die Positioniergenauigkeit ist zum einen vom Messsystem und der Abtastung der Lageregelung abhängig. Zum anderen hängt sie natürlich von den Fehlerquellen der Maschine (Temperatur, Steifigkeit, Erschütterung usw.) ab.

1.3.4 Moderne Bewegungsführung

Unter Bewegungsführung versteht man die räumliche und zeitliche Koordination von Maschinenelementen. Je nach Art der zu lösenden Bewegungsaufgabe haben sich bestimmte Typen von Bewegungsfunktionen herausgebildet.

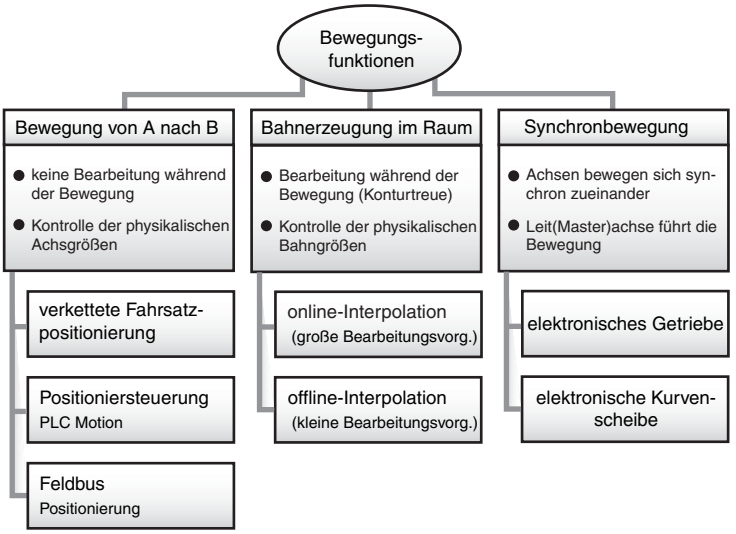


Bild 1.19 Aufgabenorientierte Systematisierung der Bewegungsfunktionen

Bewegung von A nach B

Positionieren ist das Bewegen eines Maschinenelements von Position A nach B. Während des Positioniervorgangs ist keine Bearbeitung möglich. Zu Beginn und am Ende der Positionierung ist die Geschwindigkeit Null. Die Bewegungsfunktion „Positionieren“ bezieht sich auf eine Achse allein.

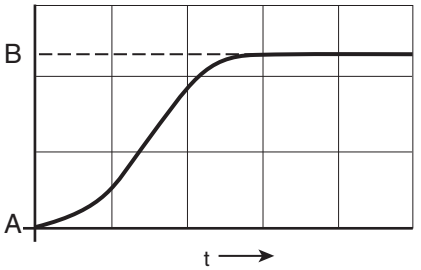


Bild 1.20 Positionierung von A nach B

Verkettete Fahrsatzpositionierung

Verkettete Fahrsatzpositionierung ist dadurch gekennzeichnet, dass in einer zuvor parametrierten Reihenfolge verschiedene Positionen angefahren werden. Die verschiedenen Positionieraufträge mit Folgeauftragslogik werden in Fahrsätzen gespeichert. Es können verschiedene Positioniermodi wie: absolut, relativ, endlos (geschwindigkeitsgeregelt) und wegoptimale Rundtischpositionierung angewählt werden.

PLC-Motion

Über PLC-Motion werden prozessnahe Zusatzaufgaben abgearbeitet und die Koordination der Positionierung durchgeführt. Der Ablauf wird nicht parametriert, sondern programmiert. Weitere Leistungsfähigkeiten entnehmen Sie bitte der entsprechenden Produktdokumentation.

Feldbus Positionierung

Die Positionierung über Feldbus ist dadurch gekennzeichnet, dass die Vorgabe der Zielposition, Geschwindigkeit, Beschleunigung und Ruck über den Feldbus (CAN, PROFIBUS) erfolgt.

Bahnerzeugung im Raum

Online-Interpolation für große Bearbeitungsvorgänge

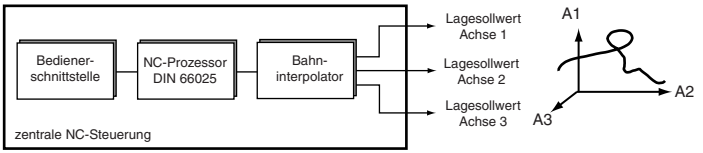


Bild 1.21 Klassische NC-Funktionalität für Werkzeugmaschinen

- online-Bahninterpolation nicht dezentralisierbar
- mathematische Verfahren für Bahninterpolation und NC-Prozessor sehr aufwendig

Offline-Interpolation für kleine Bearbeitungsvorgänge

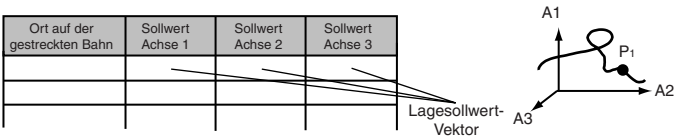


Bild 1.22 Offline-Berechnung der Lagesollwert-Vektoren zur Beschreibung der Bahn

- Ablage der Tabellenspalten (jeweils Ort auf der Bahn und Sollwert) in den Achsreglern
- Bewegung einer virtuellen Achse in Zentraleinheit und zyklische Übertragung des aktuellen Ortes auf der Bahn über Bussystem
- rechnerische Zuordnung der aktuellen Sollposition in den Achsen
- Vorteile: geringe online-Rechenleistung, geringe online-Buslast

Synchronbewegung

Von einer Leitbewegung (Master-Bewegung) wird in Echtzeit eine Folgebewegung nach einem bestimmten Bewegungsgesetz abgeleitet. Bei Synchronbewegungen sind mindestens zwei Achsen beteiligt:

- eine Master-Achse (reale oder virtuelle Achse) und
- eine oder mehrere Slave-Achsen.

Elektronische Getriebe

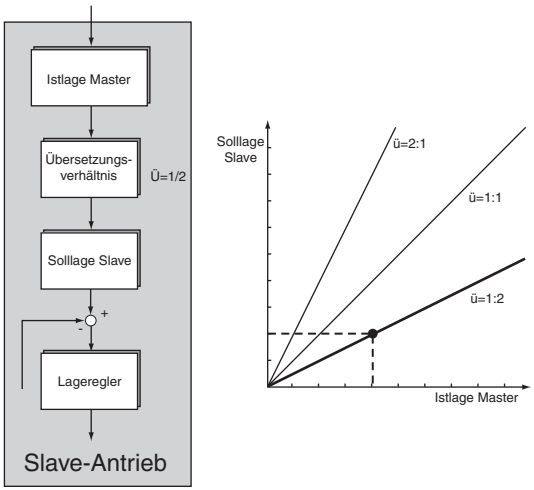


Bild 1.23 Solllage des Slave-Antriebs ist lineare Funktion der Lage des Master-Antriebs

Bei einem elektronischen Getriebe sind Motor- (Leit-) und Slave-Bewegung (Folge-Bewegung) über den Winkel mit einem Übersetzungsverhältnis gekoppelt. Kommt es aufgrund von Laständerungen zu Winkelabweichungen an der Slave-Achse (Folge-Achse), so werden diese erkannt und ausgeregelt.

Elektronische Kurvenscheibe

Bei einer elektronischen Kurvenscheibe dient der Master-Wert (Leitwert) als Eingangsgröße für eine Kurvenfunktion. Die Funktion liefert den eigentlichen Lagesollwert für die Slave-Achse (Folge-Achse).

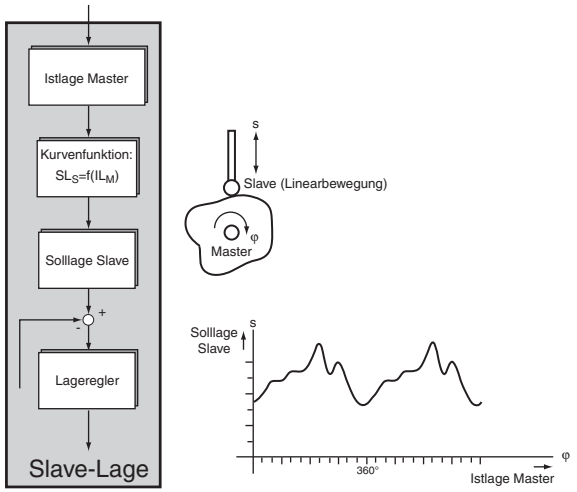


Bild 1.24 Lage des Slave-Antriebs ist nichtlineare Funktion der Lage des Master-Antriebs

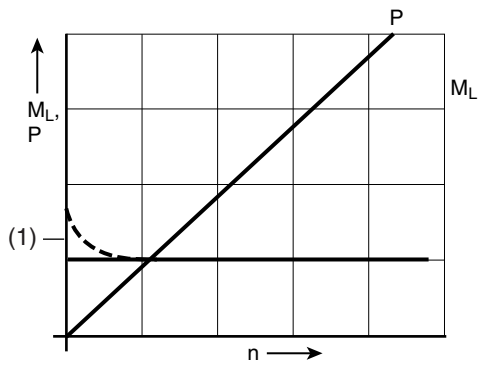
Elektronische Kurvenscheiben werden typisch in Form von Tabellen in Antriebsreglern abgelegt. Die Tabellen enthalten Wertepaare, bestehend aus dem Master-Wert und zugehörigem Slave-Wert. Jedes Wertepaar bildet einen Stützpunkt der Kurvenscheibe. Die Wertepaare wurden im allgemeinen extern berechnet und dann im Antriebsregler abgelegt.

Grenzen mechanischer Kurvenscheiben:

- Die Geschwindigkeit mechanischer Kurvenscheiben ist begrenzt, da Stößel zum Abheben neigen.
- Nicht alle Bahnbewegungen sind realisierbar, Stößel und Hebel können klemmen.
- Anpressen der Hebel führt oft zu Schwingungen.
- Ein- und Auskuppelfunktionen sind schwierig.
- Mechanische Kurvenscheiben sind teuer.
- Änderungen der Kurvenscheiben (Formatwechsel) sind sehr aufwendig.

1.3.5 Lastmoment

Hebezeuge, Förderanlagen, Kolbenverdichter, Walzwerke

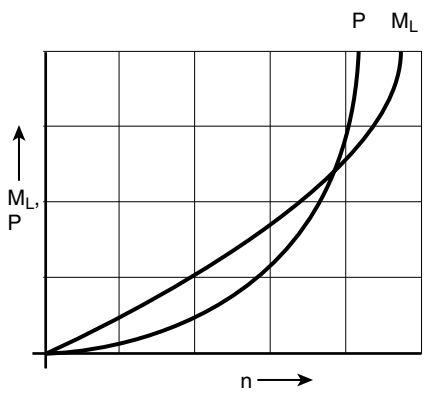


M_L = konstant
P ~ n

(1) Losbrechmoment

Bild 1.25 Lastkennlinie Hebezeuge, Förderanlagen, Kolbenverdichter, Walzwerke

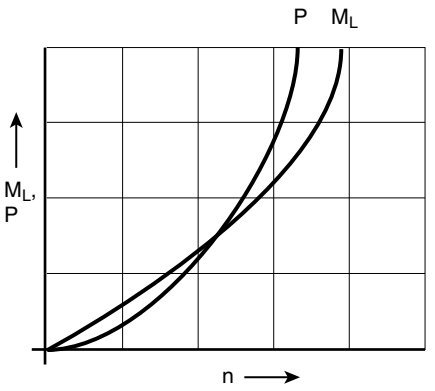
Extruder



M_L = f (n)
P = f (n)

Bild 1.26 Lastkennlinie Extruder

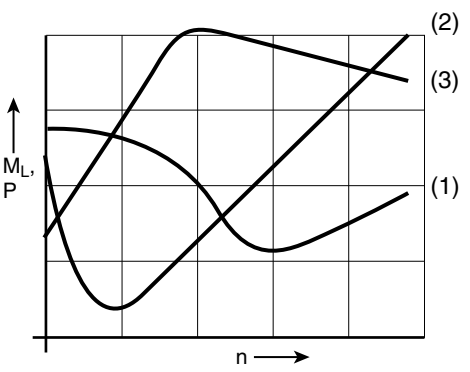
Gebläse, Lüfter, Kreiselpumpen



$M_L \sim n^2$
$P \sim n^3$

Bild 1.27 Lastkennlinie Gebläse, Lüfter, Kreiselpumpen

Mühlen



$M_L = f(n)$

(1) Hammermühle
(2) Schleudermühle
(3) Kugelmühle

Bild 1.28 Lastkennlinien Mühlen

Fördermaschinen wie z. B. Schrägaufzüge

$M_L = f(s)$

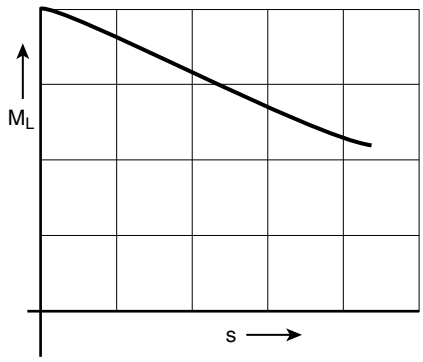


Bild 1.29 Lastkennlinie Fördermaschinen

Kolbenmaschinen, Exzenterpressen, Metallscheren

$M_L = f(\alpha)$

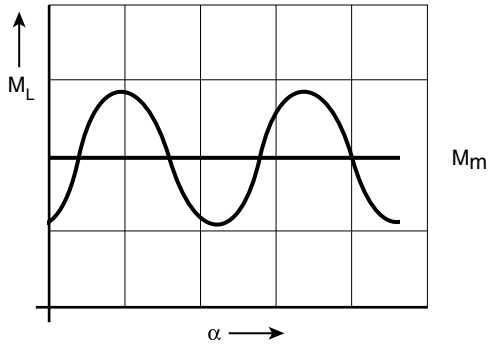


Bild 1.30 Lastkennlinie Kolbenmaschinen, Exzenterpressen, Metallscheren

Bearbeitungsmaschinen

$M_L = f(t)$

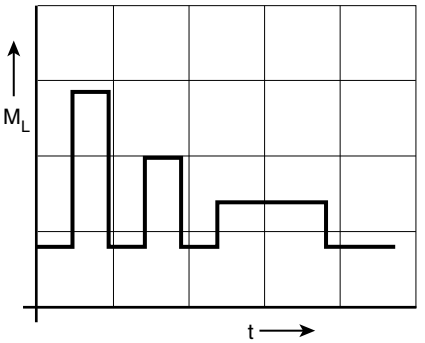


Bild 1.31 Lastkennlinie Bearbeitungsmaschinen

1.4 Erfassen der Bewegungsaufgabe

Hierbei handelt es sich um die Beschreibung der Bewegungsaufgabe im Verarbeitungsprozess. Grundlagen zu diesem Thema, siehe Kapitel 1.

Die nachfolgend vorgeschlagene Vorgehensweise erhebt nicht den Anspruch darauf, dass sie auf alle Bewegungsaufgaben allgemeingültig angewendet werden kann. Sie soll nur eine mögliche Vorgehensweise aufzeigen, die mit wenig Aufwand durchgeführt werden kann.

Das Ziel muss realistisch sein.

Wichtige Grenzen müssen bekannt sein.

Erfassen der Bewegungsaufgabe	Projektname: *Name des Projektes*

Firma: *Adresse*

Name/Funktion: *Meyer / Auftraggeber*
Schultze / Projekteur

Branche/Anwendung: *Verpackungsmaschine / Siegelbackenantrieb*

Ziel: *Was soll sich ändern (Inhalt, Ausmaß, Termin)?*

Besondere Randbedingungen: *1. Normen, Vorschriften, Sicherheit*
2. max. Grunddaten aus dem Verarbeitungsprozess (Laststoß)
3. Umweltbedingung / Installation (50°C Umgebungstemperatur)

Bemerkung:

Ersteller: Datum: Blatt *1* von *4*

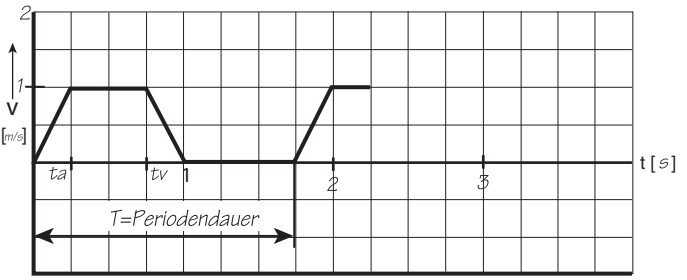
Die Kopiervorlage finden Sie im Anhang unter "Praktische Arbeitshilfen für den Projekteur".

Bewegungsanforderung

Verarbeitungstechnische Bewegungsanforderung

Projektname: _____

☐ kontinuierlicher Stoffffluss ☐ diskontinuierlicher Chargenprozess ☒ diskontinuierlicher Stückgutprozess



☐ rotatorische Bewegung [n=f(t)] ☒ translatorische Bewegung [v=f(t)]

Radius der Antriebswelle, über die die Bewegung erzeugt wird 65 mm

Bemerkung: Es soll eine Positioniergenauigkeit von ± 0,5 mm erreicht werden. Aus zeitlichen Gründen darf kein Schleichgang gefahren werden.

Ersteller: _____ Datum: _____ Blatt 2 von 4

Die Begriffsdefinitionen hierzu, siehe Kapitel 1.3.

Die Kopiervorlage finden Sie im Anhang unter "Praktische Arbeitshilfen für den Projekteur".

Bewegungsanforderung

Verarbeitungstechnische Bewegungsanforderung

Projektname: _____

Trägheits- : _____ [kgm²] moment

oder

Masse: 200 [kg]

Bewegungsart: translatorisch (Förderband), siehe Kapitel 7.2.9

Drehzahlstellbereich: /

Momentanregelzeit: / [ms]

statische Drehzahlgenauigkeit: / [min^{-1}]

Positioniergenauigkeit: ± 0,5 [ms]

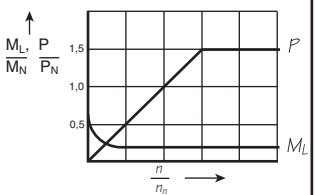
dynamische Drehzahlgenauigkeit: / [min^{-1}]

_____ : _____ [ ]

Bemerkung: Vorgelege, siehe Zeichnung im Anhang

Lastmoment des Verarbeitungsprozesses

- ☐ M_L~ 1/n, P=konstant
- ☒ M_L=konstant, P~n
- ☐ M_L=f(n), P=f(n)
- ☐ M_L~n^2, P~n^3
- ☐ M_L=f(n)
- ☐ M_L=f(s)
- ☐ M_L=f(α)
- ☐ M_L=f(t)



Ersteller: _____ Datum: _____ Blatt 3 von 4

Die Begriffsdefinitionen hierzu finden Sie im Kapitel 1.3.

Die Kopiervorlage finden Sie im Anhang unter "Praktische Arbeitshilfen für den Projekteur".

Systemschnittstelle

- ➢ automatisieren
- ➢ Umwelt
- ➢ Normen

Weitere Daten aus dem Umfeld	Projektname:

Automatisierungsprozess: *Ankopplung am Simatic S7 über Profibus-DP mit Protokoll nach EN50170*

Umwelt- und Installationsumgebung: *Schaltschrankmontage, jedoch Umgebungstemperatur von 50° C*

Normen, Vorschriften und Sicherheit: *CE, EMV sonst keine weiteren Vorschriften*

Ersteller: _____ Datum: _____ Blatt *4* ..... von *4* .....

Die Kopiervorlage finden Sie im Anhang unter "Praktische Arbeitshilfen für den Projekteur".

2 Auswahl der Motoren, Geber und Getriebe

2.1 Allgemeine Gesichtspunkte zur Motorauswahl 2-2
2.1.1 Auswahl eines Motors 2-6
2.2 Auswahl der Standard DS-Motoren 2-7
2.2.1 Kenngrößen von DS-Normmotoren 2-8
2.2.2 Kenngrößen von Asynchron-Servomotoren 2-18
2.2.3 Kenngrößen von LSH-Servomotoren 2-21
2.3 Auswahl von DS-Sondermotoren 2-45
2.3.1 Kenngrößen von Reluktanzmotoren 2-46
2.3.2 Kenngrößen von Synchronmotoren mit Dämpferkäfig 2-50
2.3.3 Kenngrößen von Hochfrequenzmotoren 2-53
2.4 Auswahl von Gebern 2-58
2.4.1 Typenübersicht 2-59
2.4.2 Gebersysteme für die c-line DRIVES 2-73
2.4.3 Projektierung 2-77
2.4.4 Schnittstellen 2-80
2.5 Auswahl von Getrieben 2-83
2.5.1 Auswahl von Standardgetrieben 2-84
2.5.2 Auswahl von Planetengetrieben 2-91
2.6 Auswahl der Motorbremsen 2-94

2.1 Allgemeine Gesichtspunkte zur Motorauswahl

Die Angaben auf dem Leistungsschild eines Motors beziehen sich auf die Betriebsart S1. Das Leistungsschild hat den Charakter eines Dokuments, Abweichungen von der Betriebsart S1 müssen auf dem Leistungsschild angegeben werden.

Die wichtigsten Angaben auf dem Typenschild (Leistungsschild) sind:

Bemessungsspannung	U_N
Bemessungsstrom	I_N
Bemessungsleistung	P_N
Bemessungsdrehzahl	n_N
Bemessungsdrehmoment (nur üblich bei Servomotoren)	M_N
Leistungsfaktor	cos φ
Bemessungsfrequenz	f_N

Bei der Motorauswahl müssen folgende Gesichtspunkte beachtet werden:

1. Einfluss der Umgebungstemperatur

Die auf dem Motorleistungsschild angegebenen Nenndaten (S1) beziehen sich auf 40 °C Umgebungstemperatur. Bei Servomotoren geht man sehr oft davon aus, dass über den Motorflansch eine zusätzliche Wärmeabführung vorgenommen wird. Wenn bei Servomotoren eine zusätzliche Wärmeabfuhr über den Motorflansch nicht realisierbar ist, dann muss eine Reduzierung der Nenndaten vorgenommen werden.

Die maximal zulässige Motortemperatur hängt im Wesentlichen von den verwendeten Isolierstoffen und Imprägniermitteln ab. Die Isolierstoffe und Imprägniermittel werden entsprechend der Wärmeklasse (B, F, H) ausgewählt. Genaue Projektierungsdaten entnehmen Sie bitte dem jeweiligen Motordatenblatt.

Wärmeklasse (Isolierstoffklasse)	Grenztemperatur des Isolierstoffes °C	Grenz-Übertemperatur der Wicklung K
B	130	80
F	155	105
H	180	125

Tabelle 2.1 Wärmeklassen von Isolierstoffen

2. Einfluss der Aufstellhöhe

Die auf dem Motorleistungsschild angegebenen Nenndaten (S1) beziehen sich auf eine Aufstellhöhe von 1000 m über N. N. Bei einer Aufstellhöhe über 1000 m ist die zulässige Bemessungsleistung bzw. -moment zu reduzieren.

Typische Werte sind:
Ab einer Aufstellhöhe von mehr als 1000 m über N. N. muss eine Leistungs- bzw. Momentreduzierung von 1 % pro 100 m vorgenommen werden. Die maximale Aufstellhöhe beträgt typischerweise 4000 m über N. N.

Genaue Projektierungsdaten entnehmen Sie bitte dem jeweiligen Motordatenblatt.

3. Maximal zulässiges Motordrehmoment

Das maximal zulässige Motordrehmoment findet man nicht auf dem Motorleistungsschild. Es ist eine Information, die man auf dem Motordatenblatt findet.

Das maximal zulässige Motordrehmoment hängt im Wesentlichen vom Motortyp (DS-Normmotor, Servomotor) und damit von der M-n-Kennlinie ab.

Neben dem maximalen Drehmoment spielt auch die durchschnittliche Lagerlebensdauer und damit die Axial- und Querkräfte eine entscheidende Rolle. Denn was nutzt es dem Anwender, wenn der super kleine Motor das maximale Drehmoment liefert, aber nach 500 Stunden wegen Lagerschadens ausfällt.

Genaue Projektierungsdaten entnehmen Sie bitte dem jeweiligen Motordatenblatt.

Bitte beachten Sie auch die Begrenzung der maximalen Motordrehmomente im oberen Drehzahlbereich und in der Feldschwächung.

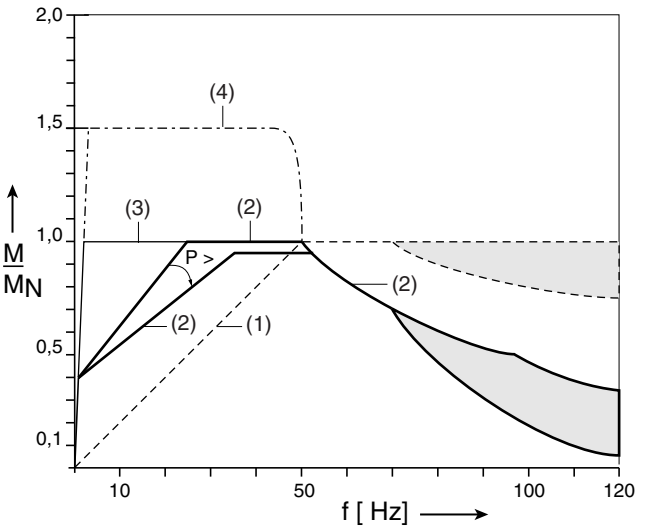


Bild 2.1 M-f-Kennlinie eines DS-Normmotors

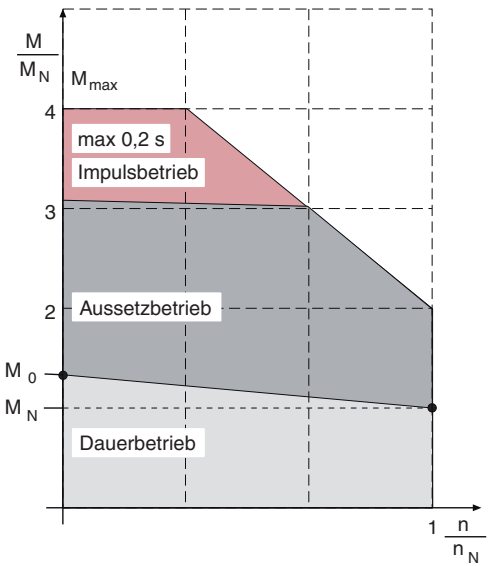


Bild 2.2 M-n-Kennlinie eines Synchron-Servomotors

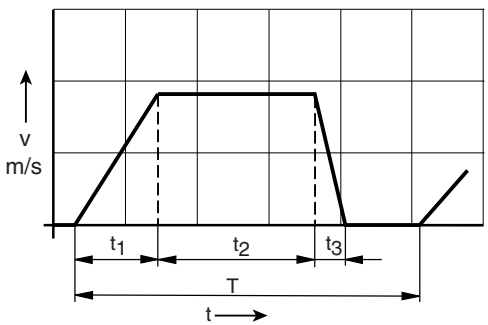
4. Thermische Eignung des Motors

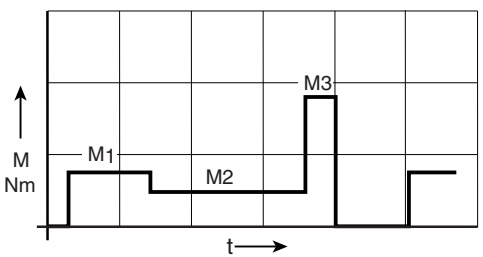
Eine weitere Grenze ist die thermische Auslastung des Motors. Bei veränderbarer Last kann man eine äquivalente mittlere Ersatzbelastung berechnen, die die Maschine aufbringen kann ohne mehr als zulässig erwärmt zu werden.

Die mittlere äquivalente Belastung wird nach der „Effektivwertmethode“ berechnet. Bei der Berechnung über die „Effektivwertmethode“ nimmt man die drehzahl- und spannungsabhängigen Motor-Leerlaufverluste als konstant an. Durch die getroffenen Vereinfachungen liegt der ermittelte Effektivwert (I_{eff}, M_{eff}, P_{eff}) auf der sicheren Seite.

Effektive Drehmomente von Motoren ohne Eigenbelüftung

Bei Lastspielen, bei denen die Einschaltzeiten kurz sind gegenüber den thermischen Zeitkonstanten des Motors, lässt sich die thermische Auslastung der elektrischen Maschine über das effektive Moment abschätzen.





$$M_{eff} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 \cdot M_3^2 \cdot t_3}{T}}$$

2.1.1 Auswahl eines Motors

Bei der Motorauswahl sind die Schritte 1 bis 3 mehrmals zu durchlaufen.

Umgebungstemperatur, Montageart und Aufstellhöhe

1.

Ermitteln Sie am Anfang der Motorauswahl den anwendungsbedingten Reduktionsfaktor. Der Faktor ergibt sich aus der Umgebungstemperatur, Montageart, Aufstellhöhe und je nach Motortyp, aus der zusätzlichen Wärmeabfuhr über den Motorflansch. Reduzieren Sie die Datenblatt-Bemessungsdaten entsprechend dem ermittelten Faktor.

Berechnen der wichtigsten Anwendungsdaten

2.

Die wichtigsten Anwendungsdaten sind:

- maximale Motordrehzahl (n_{max})
- maximal auftretende Drehmomente (M_{max})
- effektives Motormoment (M_{eff})
- mittlere Motordrehzahl ($\bar{n}_{Arbeitsspiel}$)

$$\bar{n}_{Arbeitsspiel} = \frac{\sum_{i=1}^{n} | n_i | \cdot t_i}{T_{Arbeitsspiel}}$$

Motorauswahl

3.

Für die Auswahl des Motors sind folgende Bedingungen zu prüfen:

1. Der Reduktionsfaktor zu Schritt 1 muss vorliegen, damit die Datenblatt-Bemessungsdaten (S1) des gewählten Motors angepasst werden können.
2. Der gewählte Motor muss die maximale Drehzahl (n_{max}) auch bei 10 % Unterspannung liefern können.
3. Der gewählte Motor muss das maximale Drehmoment bei maximaler Drehzahl (n_{max}) liefern können.
4. Der gewählte Motor muss bezogen auf die M-n-Kennlinie (S1), das effektive Motormoment (M_{eff}) bei mittlerer Drehzahl liefern können.

Sind diese Bedingungen erfüllt, dann müssen Sie das zusätzliche Motorträgheitsmoment des gewählten Motors in Ihre Berechnungen einbeziehen und das ganze nochmals gegenprüfen.

2.2 Auswahl der Standard DS-Motoren

An den c-line Antriebsreglern können die verschiedensten Asynchron- und Synchron-Drehstrommotoren betrieben werden. Die Motorart wird im Wesentlichen durch den Läufer, der in das Drehfeld eingebracht wird, bestimmt. In diesem Kapitel gehen wir auf die typischen Kenngrößen der in der Praxis am häufigsten verwendeten DS-Motoren ein. Diese sind:

- Drehstrom-Normmotor (asynchron)
- Synchron-Servomotor
- Asynchron-Servomotor

Die folgende Tabelle geht grob auf den Unterschied zwischen den DS-Motortypen ein. Für die Erstellung der Tabelle wurde der Leistungsbereich 0,37 bis 5 kW betrachtet, sprich der Drehmomentbereich von ca. 1 Nm bis 40 Nm.

Unterschiede zwischen den DS-Motortypen

Merkmale	Drehstrom-Normmotor	Synchron-Servomotor	Asynchron-Servomotor
Preis-/Leistungsverhältnis bis 3 kW [Euro/Nm]	niedrig	mittel	hoch
Preis-/Leistungsverhältnis größer 3 kW [Euro/Nm]	niedrig	hoch	mittel
Winkelbeschleunigung [M_{max}/J_{rot}]	mittel	sehr gut	gut
Drehzahlstellbereich	gut (0 bis 2 x n_N)	mittel (0 bis n_N)	sehr gut (0 bis 4 x n_N)
Leistungsdichte [Leistung zu Volumen/Gewicht]	mittel	sehr gut	mittel
Rotor-Massenträgheit	groß	klein	mittel
Stillstandsmoment	bedingt ($\approx$ 30 %)	ja	ja
Schutzart	IP54	IP64	IP64
Kühlung (ohne Fremdlüfter)	eigenbelüftet	Konvektion	Konvektion
Max. Beschleunigungsmoment	1,8 bis 2 x M_N	3 x M_N	3 x M_N
Not-Aus über mechanische Motorbremse	ja	bedingt	bedingt
Reparatur	einfach	schwierig	einfach
Ersatzteilbevorratung	einfach	schwierig	mittel

Tabelle 2.2 Unterschiede der DS-Motortypen

2.2.1 Kenngrößen von DS-Normmotoren

Anlaufkennlinie bei Netzbetrieb

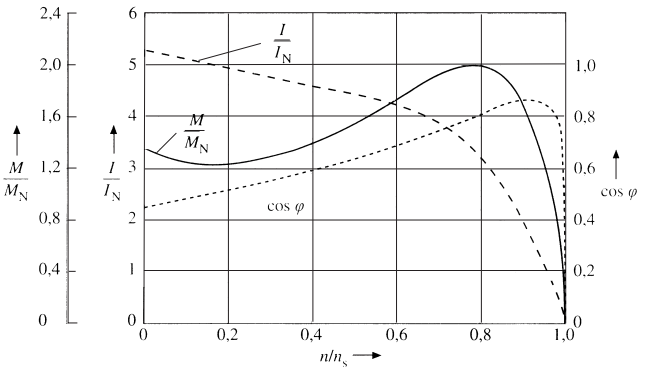


Bild 2.3 Typische Anlaufkennlinie eines DS-Normmotors bei Netzbetrieb

Betriebskennlinie

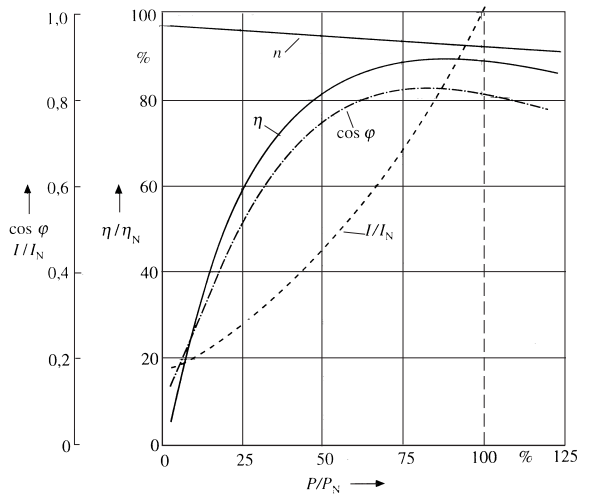
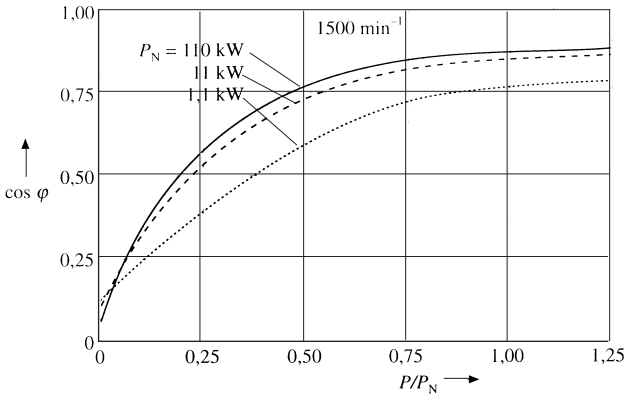


Bild 2.4 Typische Betriebskennlinie eines DS-Normmotors

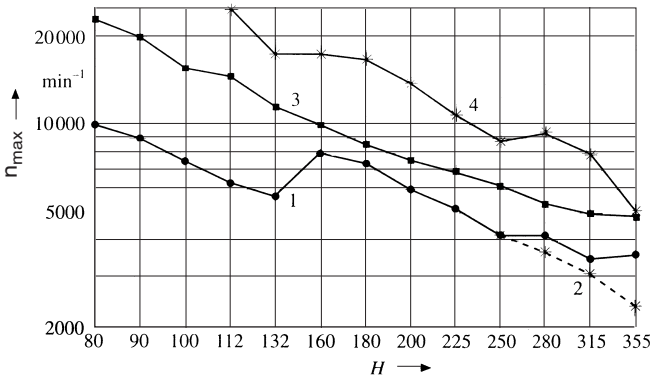
Leistungsfaktor



P/P_N Belastung der Welle

Bild 2.5 Leistungsfaktor cos φ eines vierpoligen DS-Normmotors

Grenzdrehzahl



n_{max} Grenzdrehzahl
H Achshöhe
1 fettgeschmierte Rillenkugellager bei Motoren der Polzahl 2
2 fettgeschmierte Rillenkugellager bei Motoren der Polzahl 4 und größer
3 Festigkeit der Kurzschlussringe des Läuferkäfigs
4 biegekritische Drehzahl

Bild 2.6 Typische Grenzdrehzahl eines DS-Normmotors

Weiteres zum Thema drehende elektrische Maschinen, Bemessung und Betriebsverhalten können Sie der Norm DIN VDE 0530 oder EN 60034-1 und dem Anhang entnehmen.

gewährleisteter Wert für	Toleranzen
Wirkungsgrad η • Maschinen bis 50 kW • Maschinen über 50 kW	-15 % von (1 - η) -10 % von (1 - η)
Gesamtverluste P_V • Maschinen bis 50 kW • Maschinen über 50 kW	keine Festlegung + 10 % von P_V
Leistungsfaktor cos φ	-1/6 von (1 - cos φ) mindestens 0,02; höchstens 0,07
Schlupf s (Volllast, Betriebstemperatur) • Maschinen unter 1 kW • Maschinen ab 1 kW	 $\pm$30 % von s $\pm$20 % von s
Anzugsstrom I_1	+20 % von I_1
Anzugsmoment M_1	-15 % bis +25 % von M_1 (nach Vereinbarung auch mehr als + 25 %)
Sattelmoment M_u	-10 % von M_u
Kippmoment M_b	-10 % von M_b
Massenträgheitsmoment J	$\pm$10 % von J

Tabelle 2.3 Toleranzen für Werte von Induktionsmaschinen nach VDE 0530

Schutzart, Wärmeklasse und PTC-Ausführung können Sie dem Anhang A4 entnehmen.

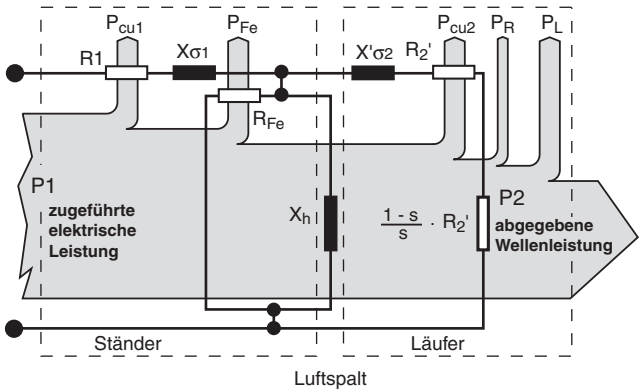


Bild 2.7 Ersatzschaltbild mit Gesamtverlustbilanz

$\frac{R_2'}{s}$ kann umgeschrieben werden in $R_2' + R_2' \cdot \frac{1-s}{s}$, wobei $R_2' \cdot \frac{1-s}{s}$ die mechanische Belastung des Motors angibt.

Typische Verluste eines Asynchronmotors	
$P_{cu1} \sim I^2$	Ständerwicklungsverluste
$P_{cu2} \sim I^2 \sim M^2$	Läuferkäfigverluste
$P_{Fe} \sim n^{1,3}$ > 15 kW $n^{1,5}$	Eisenverluste
$P_L \sim n^3$ (n^2)	Lüfterverluste
$P_R \sim n$	Reibungsverluste (Lager)

Grenzfrequenz bei u/f-Kennliniensteuerung

$$f_G \approx f_N \cdot \left(\frac{M_K}{M_N}\right) \cdot 0{,}7$$

Abhängigkeit der Motorgrößen bei Antriebsreglerbetrieb

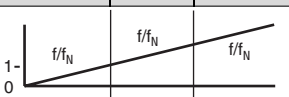
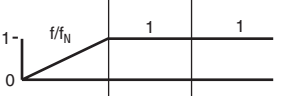
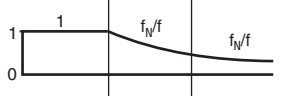
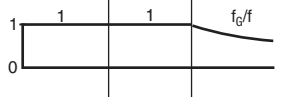
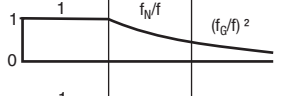
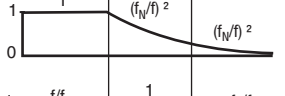
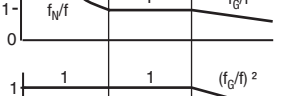
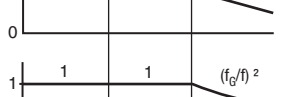
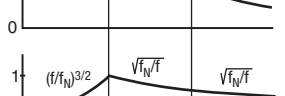
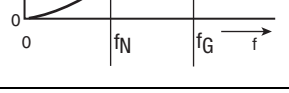
Größe	bezogene Größe	Verlauf der bezogenen Größe		
		Konstanter Fluß	Feldschwächung	
		M = konst.	P_2 = konst.	$P_2 \sim \frac{1}{n}$
Drehzahl [n]	$\frac{n}{n_N}$			
Spannung [U]	$\frac{U}{U_N}$			
Fluss [Φ]	$\frac{\Phi}{\Phi_N}$			
Strom [I]	$\frac{I}{I_N}$			
Drehmoment [M]	$\frac{M}{M_N}$			
Kippmoment [M_k]	$\frac{M_k}{M_{kN}}$			
mechanische Leistung [P_2]	$\frac{P_2}{P_N}$			
Schlupf [s]	$\frac{s}{s_N}$			
Ständer-Kupferverluste [P_{cu1}]	$\frac{P_{cu1}}{P_{cu1N}}$			
Läufer-Kupferverluste [P_{cu2}]	$\frac{P_{cu2}}{P_{cu2N}}$			
Eisenverluste [P_{Fe}]	$\frac{P_{Fe}}{P_{FeN}}$			

Tabelle 2.4 Abhängigkeit der Motorgrößen bei u/f-Kennliniensteuerung

Verwendete Abkürzungen in Tabelle 2.4

f	Frequenz
f_N	Nennfrequenz
f_G	Grenzfrequenz bei Antriebsreglerbetrieb
I	Strom, Effektivwert
I_N	Nennstrom
M	Drehmoment
M_k	Kippmoment
M_{kN}	Nennkippmoment
M_N	Nennmoment
n	Drehzahl
n_N	Nenndrehzahl
P_{cu1}	Ständerkupferverluste
P_{cu2}	Läuferkupferverluste
$P_{cu1, N}$	Nenn-Ständerkupferverluste der Grundschwingung
$P_{cu2, N}$	Nenn-Läuferkupferverluste der Grundschwingung
P_{Fe}	Eisenverluste
P_N	Nennleistung
P_2	mechanische Leistung
s	Schlupf
U	Spannung, Effektivwert
Φ	Magnetischer Fluss

Achtung: Ein sicherer Antriebsreglerbetrieb ist nur zu gewährleisten, wenn die max. Ausgangsfrequenz nicht größer als die Grenzfrequenz (f_G) ist.

Über die Erstinbetriebnahme werden automatisch die Steuer- und Regelkreise so optimiert, dass bei einer Zuordnung „Antriebsreglerleistung gleich Motorleistung“ sich die in Bild 2.8 dargestellte, typische Leistungs- und Momentenkennlinie einstellt.

Typische Momentenkennlinie eines DS-Normmotors bei Antriebsreglerbetrieb $P_{Antriebsregler} = P_{Motor}$

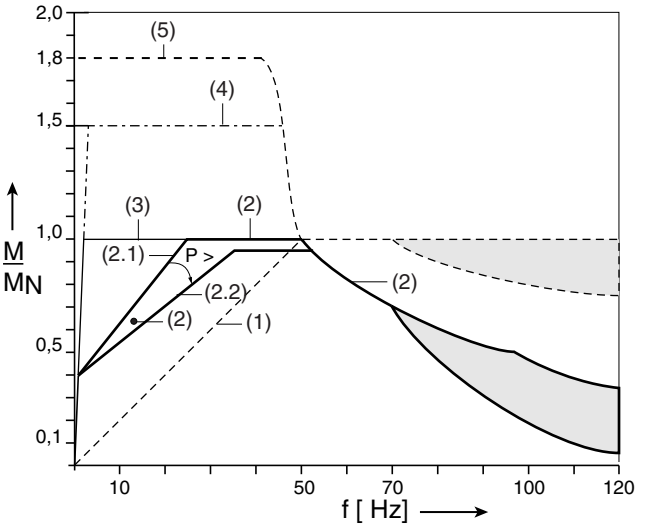


Bild 2.8 Typische Momentenkennlinie eines DS-Normmotors

(1) Abgegebene Leistung eines DS-Normmotors bei Standard Antriebsreglerbetrieb
(2) Zulässige Drehmomentkennlinie eines eigenbelüfteten DS-Normmotors bei Standard-Antriebsreglerbetrieb
  (2.1) Typische Kennlinie bei Motorleistungen <4 kW
  (2.2) Typische Kennlinie bei Motorleistungen >15 kW

Genaue Aussagen kann nur der Hersteller der Motoren machen.

(3) Zulässige Drehmomentkennlinie eines ausreichend fremdbelüfteten DS-Normmotors bei Standard-Antriebsregler. Es ist jedoch zu beachten, dass bei Motorleistungen >15 kW sehr oft ein Rotorlüfter eingesetzt wird, wodurch die Kennlinie (3) eventuell reduziert werden muss.

Genaue Aussagen kann nur der Hersteller der Motoren machen.

(4) Maximal zulässiges Drehmoment eines DS-Normmotors nach VDE 0530 Teil 1 (120 s).
Maximales Drehmoment mit Antriebsreglermodulen, die 150 % Überlast zulassen und das Motor-Regelverfahren SFC oder FOR aktiviert haben.

(5) Maximales Drehmoment mit Antriebsreglermodulen, die 180 % Überlast zulassen und das Motor-Regelverfahren SFC oder FOR aktiviert haben.

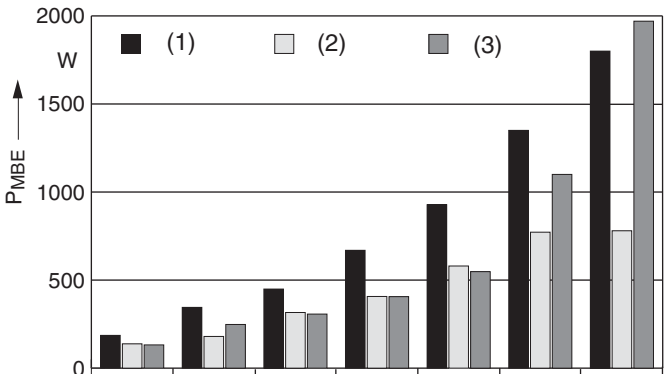
Die typische Grenzkurve (2) kann bei Motorisolation mit Wärmeklasse „F“ und Ausnutzung des Motors nach (Wärmeklasse B) um ca. 20 % angehoben werden.
Genaue Aussagen erhalten Sie von Ihrem Motorhersteller.

Typisches Beschleunigungsverhalten von DS-Normmotoren

$$P_{MBE} = \frac{J_M \cdot n^2}{91,2 \cdot t_{BE}}$$

J_M Trägheitsmoment des Motors (Rotors) in [kgm²]
t_{BE} Beschleunigungszeit in [s]
PMBE Motorbeschleunigungsleistung in [W]

Beschleunigung von 0 min^{-1} auf Nenndrehzahl in 100 ms



	250 W	370 W	550 W	750 W	1,1 kW	1,5 kW	2,2 kW
(1)	186	345	449	669	928	1350	1800
(2)	138	180	316	407	580	772	780
(3)	132	248	307	406	548	1100	1970

(1) 1 Polpaar
(2) 2 Polpaare
(3) 3 Polpaare

Bild 2.9 Beschleunigungsverhalten in Abhängigkeit der Polpaare von DS-Normmotoren

Motoren mit nur einem Polpaar sind ungeeignet für dynamische Antriebsaufgaben.

Fazit

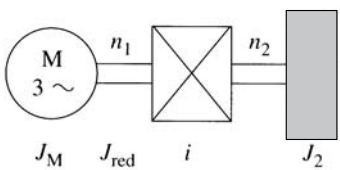
Wie aus dem Diagramm erkennbar ist, eignen sich DS-Normmotoren mit zwei Polpaaren (vierpolig) besonders gut für dynamische Antriebsaufgaben.

Typische max. Beschleunigungszeiten von vierpoligen DS-Normmotoren

Baugröße	Leistung P in W	Leerlaufbeschleunigungs-zeit in ms [$I_{red} = 0$]	Beschleunigungszeit bei Träg-heitsmomentanpassung in ms [$I_{red} = I_M$]
63L/4	250	55	110
71L/4	375	49	98
80/S/4	550	57	114
80L/4	750	54	108
90S/4	1100	52	104
90L/4	1500	52	104
90L/4a	2200	35	70
100L/4	2200	50	100
100L/4a	3000	50	100
112M/4	4000	123	246

Tabelle 2.5 max. Beschleunigungszeiten von vierpoligen DS-Normmotoren

Beispiel: Gleichungen für Reduktion über ein Getriebe

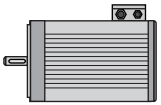


$$J_{red} = \frac{J_2}{(i)^2} = \frac{J_2}{(n_1 / n_2)^2}$$

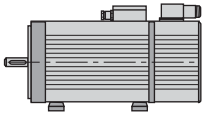
$$J_{tot} = J_M + J_{red}$$

Weitere Berechnungen von Massenträgheitsmomenten siehe Anhang A.2.8.

2.2.2 Kenngrößen von Asynchron-Servomotoren

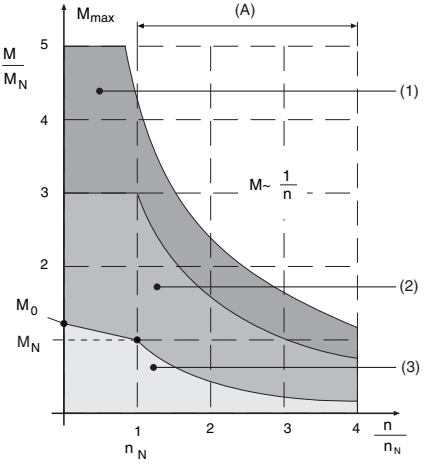


ohne Geber



mit Geber

M-n-Kennlinie für Asynchron-Servomotoren



(1) Impulsbetrieb (2) Aussetzbetrieb (3) Dauerbetrieb (S1)

Bild 2.10 M-n-Kennlinie für Asynchronmotoren

Verwendete Abkürzungen

Begriff	Erklärung
M_0 Stillstandsmoment	Thermisches Grenzdrehmoment des Motors bei Stillstand. Dieses Moment kann der Motor unbegrenzt lange abgeben.
I_0 Stillstandsstrom	Effektivwert des Motorstrangstromes, der benötigt wird, um das Stillstandsmoment zu erzeugen.
M_N Nenndrehmoment	Thermisches Grenzdrehmoment des Motors bei Nenndrehzahl n_N.
I_N Nennstrom	Effektivwert des Motorstrangstromes, der benötigt wird, um das Nenndrehmoment zu erzeugen.
P_N Nennleistung	Dauerleistung des Motors am Nennarbeitspunkt (M_N, n_N) bei Nennstrom I_N und Nennspannung U_N.
M_{max}, I_{max} Grenzkennlinie	Die Motoren dürfen max. mit dem Fünffachen des Nennstromes beaufschlagt werden.

Tabelle 2.6 Verwendete Abkürzungen

Typische Normen und Eigenschaften

Eigenschaft	Asynchronservomotoren
Maschinenart	Asynchron-Servomotor
Bauform (DIN 42948)	IM B35, IM B5, BV1, V3
Schutzart (DIN 40050)	IP54
Isolierstoffklasse	Isolierstoffklasse F nach IEC85/VDE0530 Δt = 105, Kühlmitteltemperatur tu = +40 °C
Kühlung	Selbstkühlung (IC 0041) IP65 Fremdkühlung (IC 0641) IP44,54
Wellenende auf der A Seite	zylindrisches Wellenende DIN 748, Passfeder und Passfedernut DIN 6885, Toleranzfeld k6
Rundlaufgenauigk., Koaxialität und Planlauf nach DIN 42955	Toleranz N (normal) R (reduziert) auf Anfrage
Schwingstärke nach ISO 2373	Stufe N, als Option R
Therm. Motorüberwachung	Kaltleiter PTC in der Ständerwicklung
Drehmomentbelastung	Um eine thermische Überlastung des Motors auszuschließen, darf das effektive Belastungsmoment bei mittlerer Drehzahl nicht oberhalb der S1-Kennlinie liegen. $M_{eff} = \sqrt{\frac{\Sigma(M^2_n \cdot t_n)}{t_{ges}}}$ $\quad \bar{n} = \frac{\Sigma(n_n \cdot t_n)}{t_{ges}}$
Maximales Impulsdrehmoment	Typisch 2 bis 5faches Nennmoment, je nach Reglerzuordnung. Das 3 bis 5fache Nennmoment ist max. für 0,2 s zulässig.
Lagerlebensdauer	Die durchschnittliche Lebensdauer unter Nennbedingungen (Mmax. ≤ M_N) beträgt 20.000 h.

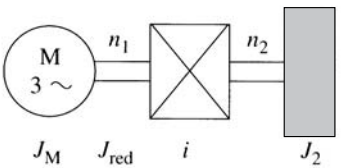
Tabelle 2.7 Allgemeine technische Daten

Typische max. Beschleunigungszeiten von Asynchron-Servomotoren

Einbaufenster [mm]	Beschleunigungsmoment [Nm]	Leistungsklasse [kW]	Leerlaufbeschleunigungszeit [ms] $I_{red}=0$	Beschleunigungszeit [ms] $I_{red}=I_M$
110 x 110	3,25 bis 11,75	0,4 bis 1,5	14 bis 12	28 bis 24
140 x 140	8,75 bis 32,5	1,1 bis 2,7	20 bis 19	40 bis 38
190 x 190	32,5 bis 87,5	2,1 bis 5,5	34 bis 38	68 bis 76
260 x 260	100 bis 175	6,3 bis 11	71 bis 87	142 bis 174
Vorausgesetzt:	Beschleunigung von 0 auf 1500 min^{-1} mit 2,5fachem Nennmoment			

Tabelle 2.8 Beschleunigungszeiten

Beispiel: Gleichungen für Reduktion über ein Getriebe



$$J_{red} = \frac{J_2}{(i)^2} = \frac{J_2}{(n_1 / n_2)^2}$$

$$J_{tot} = J_M + J_{red}$$

Berechnung von Massenträgheitsmomenten siehe Kapitel A.2.8.

2.2.3 Kenngrößen von LSH-Servomotoren

Die nachfolgend beschriebenen LSH-Synchron-Servomotoren sind mit einer speziellen, komprimierten Wicklungstechnologie ausgeführt. Diese neue Wicklungstechnologie hat gegenüber der konventionellen Wicklungstechnologie viele Vorteile.

Nutzen der komprimierten Wicklungstechnologie

1. Durch die komprimierte Wicklungstechnologie entfällt der klassische Wickelkopf, wodurch die Baulänge der Motoren um bis zu 50 % reduziert werden kann.
2. Geringeres Rotorträgheitsmoment, bei gleichzeitig höherem Drehmoment ermöglichen bis zu 100 % höhere Dynamik der Motoren.
3. Reduzierung der Anschaffungskosten durch höheres Drehmoment in gleicher Motorbauform bei gleichzeitiger Reduzierung der Fertigungskosten und des Materialeinsatzes.

Die nachfolgenden Beispieldaten sind dem Servomotorenkatalog LSx entnommen.

Typische M-n-Kennlinie für Synchron Servomotoren

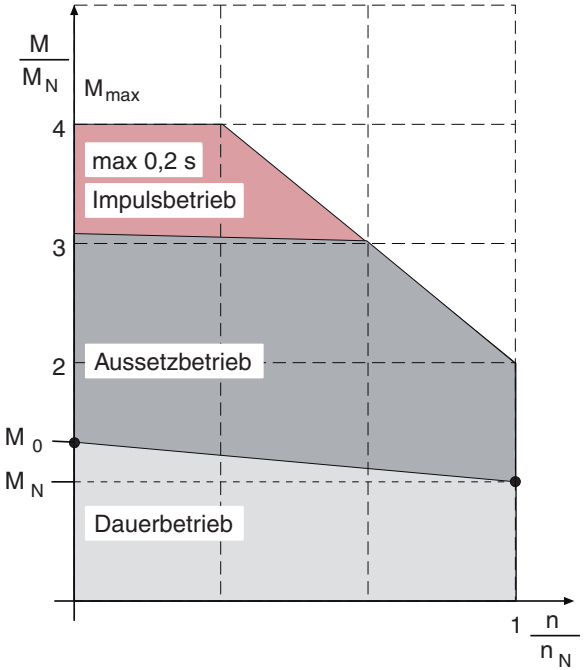


Bild 2.11 Kennlinie Betriebsarten

Verwendete Abkürzungen

Begriff	Erklärung
M_0 Stillstandsmoment	Thermisches Grenzdrehmoment des Motors bei Stillstand. Dieses Moment kann der Motor unbegrenzt lange abgeben.
I_0 Stillstandsstrom	Effektivwert des Motorstrangstromes, der benötigt wird, um das Stillstandsmoment zu erzeugen.
M_N Nenndrehmoment	Thermisches Grenzdrehmoment des Motors bei Nenndrehzahl n_N.
I_N Nennstrom	Effektivwert des Motorstrangstromes, der benötigt wird, um das Nenndrehmoment zu erzeugen.
P_N Nennleistung	Dauerleistung des Motors am Nennarbeitspunkt (M_N,n_N) bei Nennstrom I_N und Nennspannung U_N.
M_{MAX}, I_{MAX} Grenzkennlinie	Die Motoren dürfen max. mit dem 4fachen des Nennstromes beaufschlagt werden.

Grundausstattung der LSH-Servomotoren

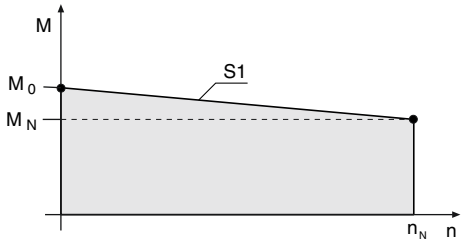
Eigenschaft	Synchronservomotor LSH
Maschinenart	Permanenterregter Synchron-Servomotor
Magnetmaterial	Neodym-Eisen-Bor
Bauform (DIN 42948)	B5, V1, V3
Schutzart (DIN 40050)	IP64, IP54 nach EN60034-5 (umlaufende Maschinen), IP65 optional erhältlich
Isolierstoffklasse	Isolierstoffklasse F nach IEC85/VDE0530, Wicklungsübertemperatur Δt = 100 °C, Umgebungstemperatur t_U = +40 °C
Lackierung	RAL 9005 (matt schwarz)
Wellenende auf der A-Seite	glatte Welle (Passfeder und Passfedernut DIN 6885, Toleranzfeld k6 als Option)
Rundlaufgenauigkeit, Koaxialität und Planlauf nach DIN 42955	Toleranz N (normal), Toleranz R (reduziert) auf Anfrage
Schwingstärke nach ISO 2373	Stufe N, als Option R
Thermische Motorüberwachung	DIN-PTC in einer Ständerwicklung
Drehmomentbelastung	Um eine thermische Überlastung des Motors auszuschließen, darf das effektive Belastungsmoment bei mittlerer Drehzahl nicht oberhalb der S1-Kennlinie liegen.  $M_{eff} = \sqrt{\frac{\Sigma(M^2_n \cdot t_n)}{t_{ges}}}$ $\bar{n} = \frac{\Sigma(n_n \cdot t_n)}{t_{ges}}$
Maximales Impulsmoment	Typisch 2 bis 4faches Nennmoment für max. 0,2 s, je nach Reglerzuordnung
Lagerlebensdauer	Die durchschnittliche Lebensdauer unter Nennbedingungen ($M_{max} \leq M_N$) beträgt 20.000 h.
Anschlussart von Motor, Kaltleiter und Haltebremse	Über Steckanschlüsse
Anschlussart des Gebersystems	Signalstecker (Gegenstecker nicht im Lieferumfang)

Tabelle 2.9 Grundausstattung der LSH Servomotoren

Kühlung der LSH-Servomotoren

Die angegebenen Nenndaten beziehen sich auf eine max. Umgebungstemperatur von 40 °C und Anbau des Motors an eine Aluminiumplatte mit einer max. Temperatur von 40 °C und einer Aufstellhöhe von max. 1000 m ü.NN.

Minimale Befestigungsfläche: 2,5 x Fläche des Motorflansches

Dicke der Befestigungsfläche: mind. 10 mm

Wenn der Motor isoliert montiert wird (keine Wärmeabgabe über den Flansch), muss eine Reduzierung des Nennmomentes vorgenommen werden.

Ab einer Aufstellhöhe > 1000 m ü.NN muss eine Leistungsreduzierung von 1 % pro 100 m vorgenommen werden. Die maximale Aufstellhöhe beträgt 4000 m.

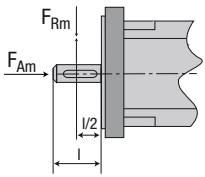
Bei Umgebungstemperaturen > 40 °C muss eine Leistungsreduzierung von 1 % pro 1 °C vorgenommen werden. Die maximale Umgebungstemperatur beträgt 50 °C.

Bauform, Axial- und Querkraft der LSH-Servomotoren

	Radialkraft F_{Rm} [N] bei Drehzahl n [min^{-1}]					Axialkraft F_{Am} [N] bei Drehzahl n [min^{-1}]					F_G
Baugrößen	**1000**	**2000**	**3000**	**4500**	**6000**	**1000**	**2000**	**3000**	**4500**	**6000**	**[N]**
LSH-050-1	310	250	220	190	170	60	50	42	36	32	2
LSH-050-2											
LSH-050-3											
LSH-074-1	480	380	330	290	260	90	70	63	55	50	6
LSH-074-2											
LSH-074-3											
LSH-097-1	850	680	600	520	470	160	130	115	100	90	15
LSH-097-2											
LSH-097-3											

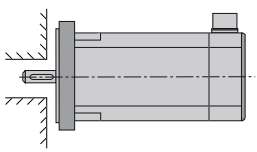
Tabelle 2.10 Kräfte der LSH-Servomotoren

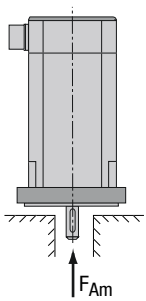
	Radialkraft F_{Rm} [N] bei Drehzahl n [min^{-1}]					Axialkraft F_{Am} [N] bei Drehzahl n [min^{-1}]					F_G
Baugrößen	**1000**	**2000**	**3000**	**4500**	**6000**	**1000**	**2000**	**3000**	**4500**	**6000**	**[N]**
LSH-127-1	970	770	670	590	530	185	145	125	110	100	34
LSH-127-2											
LSH-127-3											
LSH-127-4											

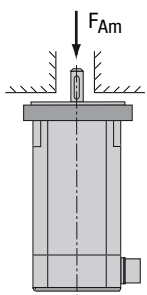


Die Tabelle gibt die max. zulässige Querkraft (Radialkraft F_{Rm}) beim Angriffspunkt l/2 und die max. zulässige Axialkraft F_{Am} für eine Lagerlebensdauer von 20.000 h an. Eine Querkraft, die nicht in der Mitte des Wellenendes wirkt, kann einfach auf die geänderten Hebelverhältnisse umgerechnet werden.
Auf die Motorwelle darf entweder die zulässige Radialkraft **oder** die Axialkraft wirken!

Tabelle 2.10 Kräfte der LSH-Servomotoren





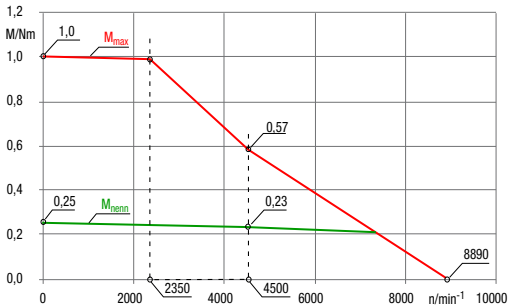


Bauform	B5	V1	V3
Welle	freies Wellenende	freies Wellenende unten	freies Wellenende oben
Befestigung	Flanschanbau Zugang von der Gehäuseseite	Flanschanbau unten Zugang von der Gehäuseseite	Flanschanbau oben Zugang von der Gehäuseseite

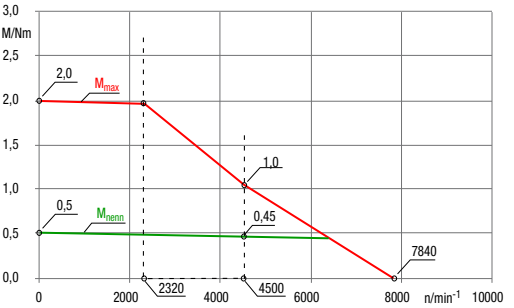
Bei senkrechter Aufstellung (V1) gelten die zulässigen Axialkräfte (F_{Am}).
Bei senkrechter Aufstellung nach oben (V3) reduzieren sich die zulässigen Axialkräfte um die Gewichtskraft des Rotors (F_G).

Synchron-Servomotor LSH-50

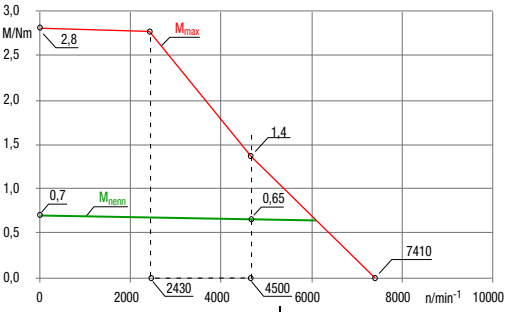
LSH-050-1-45-320



LSH-050-2-45-320



LSH-050-3-45-320



Techn. Daten	Zeichen	LSH-050-1-45-320	LSH-050-2-45-320	LSH-050-3-45-320
Nenndrehzahl	n_n	4500 min^{-1}	4500 min^{-1}	4500 min^{-1}
Nennfrequenz	f_N	225 Hz	225 Hz	225 Hz
Zwischenkreisspannung (Regler)	U_{dc}	320 V	320 V	320 V
Nennspannung	U_n	200 V	200 V	200 V
Nennmoment	M_n	0,23 Nm	0,45 Nm	0,65 Nm
Nennstrom	I_n	0,66 A	1,11 A	1,49 A
Stillstandsmoment	M_0	0,25 Nm	0,50 Nm	0,70 Nm
Stillstandsstrom	I_0	0,67 A	1,19 A	1,57 A

Tabelle 2.11 Technische Daten der Synchron-Servomotoren LSH-50

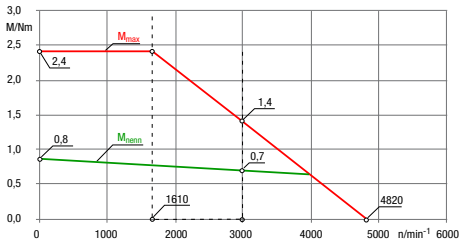
Techn. Daten	Zeichen	LSH-050-1-45-320	LSH-050-2-45-320	LSH-050-3-45-320
Maximal zulässiges Moment	M_{max}	1,0 Nm	2,0 Nm	2,8 Nm
Maximal zulässiger Strom	I_{max}	2,9 A	5,1 A	6,7 A
Maximal zulässige Drehzahl	n_{max}	12000 min^{-1}	12000 min^{-1}	12000 min^{-1}
Spannungskonstante	K_E	22,5 V/1000	25,5 V/1000	27,0 V/1000
Drehmomentkonstante	K_T	0,37 Nm/A	0,42 Nm/A	0,45 Nm/A
Wicklungswiderstand (zwei Phasen)	R_{2ph}	33,1 Ω	16,4 Ω	11,1 Ω
Wicklungsinduktivität (zwei Phasen)	L_{2ph}	51 mH	32,7 mH	24,5 mH
Leerlaufdrehzahl	n_0	8890 min^{-1}	7840 min^{-1}	7410 min^{-1}
Elektrische Zeitkonstante	T_{el}	1,5 ms	2,0 ms	2,2 ms
Thermische Zeitkonstante	T_{th}	13 min	15 min	20 min
Massenträgheitsmoment des Läufers	J	0,06 kgcm²	0,08 kgcm²	0,10 kgcm²
Masse	m	0,75 kg	0,92 kg	1,1 kg
Bremse (optional)	J	0,07 kgcm²	0,07 kgcm²	0,07 kgcm²
	m	0,2 kg	0,2 kg	0,2 kg

Tabelle 2.11 Technische Daten der Synchron-Servomotoren LSH-50

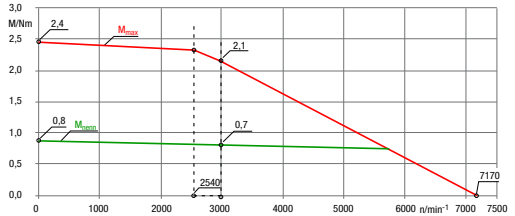
Synchron-Servomotor LSH-074

U_{ZK} = 320 V	U_{ZK} = 560 V

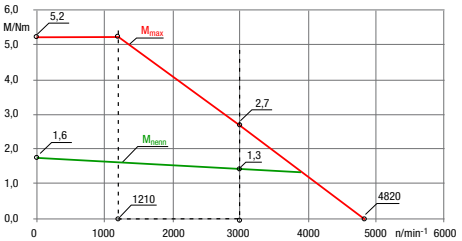
LSH-074-1-30-320



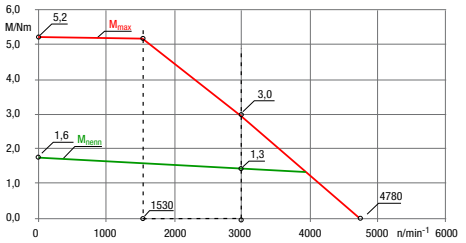
LSH-074-1-30-560



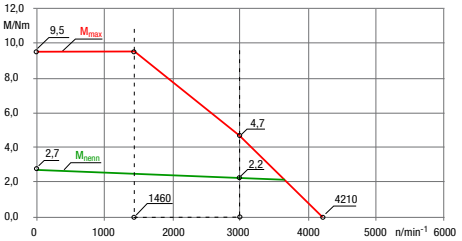
LSH-074-2-30-320



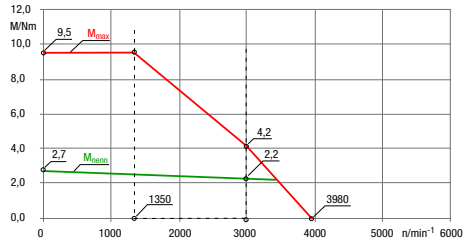
LSH-074-2-30-560



LSH-074-3-30-320



LSH-074-3-30-560



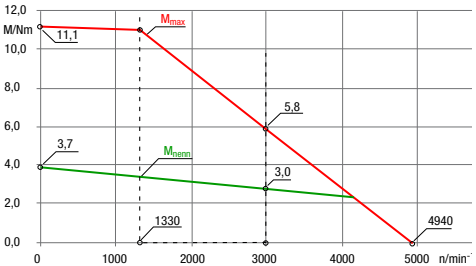
Techn. Daten	Zeichen	LSH-074-1-30-320	LSH-074-1-30-560	LSH-074-2-30-320	LSH-074-2-30-560	LSH-074-3-30-320	LSH-074-3-30-560
Nenndrehzahl	n_n	3000 min^{-1}	3000 min^{-1}	3000 min^{-1}	3000 min^{-1}	3000 min^{-1}	3000 min^{-1}
Nennfrequenz	f_N	250 Hz	250 Hz	250 Hz	250 Hz	250 Hz	250 Hz
Zwischenkreisspannung	U_{dc}	320 V	560 V	320 V	560 V	320 V	560 V
Nennspannung	U_n	200 V	330 V	200 V	330 V	200 V	330 V
Nennmoment	M_n	0,70 Nm	0,70 Nm	1,3 Nm	1,3 Nm	2,2 Nm	2,2 Nm
Nennstrom	I_n	1,11 A	1,0 A	2,0 A	1,2 A	2,9 A	1,68 A
Stillstandsmoment	M_0	0,80 Nm	0,8 Nm	1,6 Nm	1,6 Nm	2,7 Nm	2,7 Nm
Stillstandsstrom	I_0	1,17 A	1,05 A	2,3 A	1,4 A	3,4 A	1,97 A
Maximal zulässiges Moment	M_{max}	2,4 Nm	2,4 Nm	5,2 Nm	5,2 Nm	9,5 Nm	9,5 Nm
Maximal zulässiger Strom	I_{max}	5,1 A	4,6 A	11,1 A	6,7 A	18,0 A	10,3 A
Maximal zulässige Drehzahl	n_{max}	12000 min^{-1}	12000 min^{-1}	12000 min^{-1}	12000 min^{-1}	12000 min^{-1}	12000 min^{-1}
Spannungskonstante	K_E	41,5 V/1000	46,0 V/1000	41,5 V/1000	69,0 V/1000	47,5 V/1000	83,0 V/1000
Drehmomentkonstante	K_T	0,69 Nm/A	0,76 Nm/A	0,69 Nm/A	1,14 Nm/A	0,79 Nm/A	1,37 Nm/A
Wicklungswiderstand (zwei Phasen)	R_{2ph}	9,9 Ω	12,6 Ω	4,0 Ω	11,6 Ω	2,1 Ω	6,6 Ω
Wicklungsinduktivität (zwei Phasen)	L_{2ph}	36,0 mH	44,7 mH	18 mH	49,4 mH	11,8 mH	36,7 mH
Leerlaufdrehzahl	n_0	4820 min^{-1}	7170 min^{-1}	4820 min^{-1}	4780 min^{-1}	4210 min^{-1}	3980 min^{-1}
Elektrische Zeitkonstante	T_{el}	3,6 ms	3,5 ms	4,5 ms	4,3 ms	5,5 ms	5,6 ms
Thermische Zeitkonstante	T_{th}	25 min	25 min	30 min	30 min	33 min	33 min
Massenträgheitsmoment des Läufers	J	0,50 kgcm²	0,50 kgcm²	0,70 kgcm²	0,70 kgcm²	1,1 kgcm²	1,1 kgcm²
Masse	m	1,5 kg	1,5 kg	2,1 kg	2,1 kg	3,2 kg	3,2 kg
Bremse (optional)	J	0,2 kgcm²	0,2 kgcm²	0,2 kgcm²	0,2 kgcm²	0,2 kgcm²	0,2 kgcm²
	m	0,47 kg	0,47 kg	0,47 kg	0,47 kg	0,47 kg	0,47 kg

Tabelle 2.12 Technische Daten der Synchron-Servomotoren LSH-074

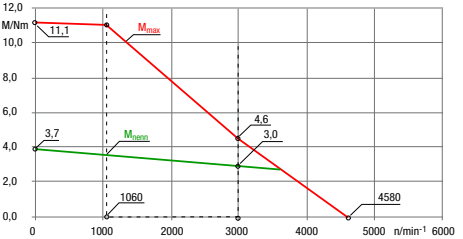
Synchron-Servomotor LSH-097

U_{ZK} = 320 V	U_{ZK} = 560 V

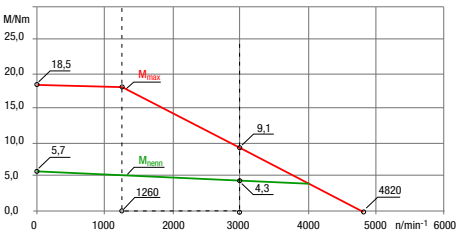
LSH-097-1-30-320



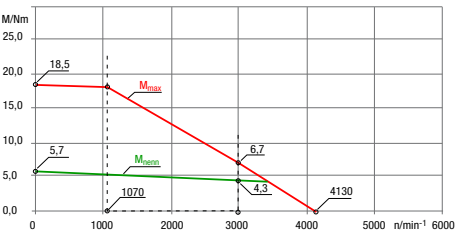
LSH-097-1-30-560



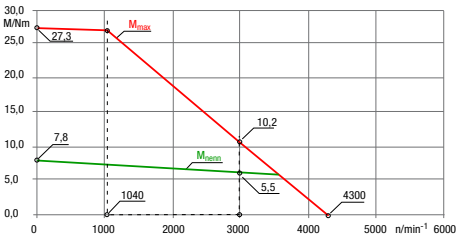
LSH-097-2-30-320



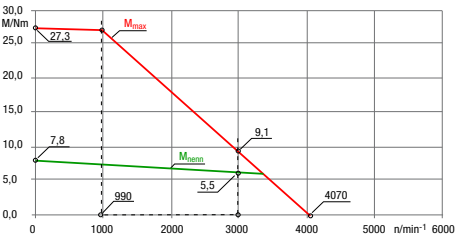
LSH-097-2-30-560



LSH-097-3-30-320



LSH-097-3-30-560



Techn. Daten	Zeichen	LSH-097-1-30-320	LSH-097-1-30-560	LSH-097-2-30-320	LSH-097-2-30-560	LSH-097-3-30-320	LSH-097-3-30-560
Nenndrehzahl	n_n	3000 min^{-1}	3000 min^{-1}	3000 min^{-1}	3000 min^{-1}	3000 min^{-1}	3000 min^{-1}
Nennfrequenz	f_N	250 Hz	250 Hz	250 Hz	250 Hz	250 Hz	250 Hz
Zwischenkreisspannung (Regler)	U_{dc}	320 V	560 V	320 V	560 V	320 V	560 V
Nennspannung	U_n	200 V	330 V	200 V	330 V	200 V	330 V
Nennmoment	M_n	3,0 Nm	3,0 Nm	4,3 Nm	4,3 Nm	5,5 Nm	5,5 Nm
Nennstrom	I_n	4,7 A	2,6 A	6,6 A	3,4 A	7,5 A	4,3 A
Stillstandsmoment	M_0	3,7 Nm	3,7 Nm	5,7 Nm	5,7 Nm	7,8 Nm	7,8 Nm
Stillstandsstrom	I_0	5,5 A	3,1 A	8,3 A	4,3 A	10,1 A	5,8 A
Maximal zulässiges Moment	M_{max}	11,1 Nm	11,1 Nm	18,5 Nm	18,5 Nm	27,0 Nm	27,0 Nm
Maximal zulässiger Strom	I_{max}	24,0 A	15,5 A	40,0 A	21 A	53,0 A	31,0 A
Maximal zulässige Drehzahl	n_{max}	9000 min^{-1}	9000 min^{-1}	9000 min^{-1}	9000 min^{-1}	9000 min^{-1}	9000 min^{-1}
Spannungskonstante	K_E	40,5 V/1000	72,0 V/1000	41,5 V/1000	80,0 V/1000	46,5 V/1000	81,0 V/1000
Drehmomentkonstante	K_T	0,67 Nm/A	1,19 Nm/A	0,69 Nm/A	1,32 Nm/A	0,77 Nm/A	1,34 Nm/A
Wicklungswiderstand (zwei Phasen)	R_{2ph}	1,24 Ω	4,0 Ω	0,7 Ω	2,7 Ω	0,59 Ω	1,81 Ω
Wicklungsinduktivität (zwei Phasen)	L_{2ph}	10,6 mH	34,0 mH	6,9 mH	25,0 mH	6,2 mH	18,6 mH
Leerlaufdrehzahl	n_0	4940 min^{-1}	4580 min^{-1}	4820 min^{-1}	4130 min^{-1}	4300 min^{-1}	4070 min^{-1}
Elektrische Zeitkonstante	T_{el}	8,5 ms	8,5 ms	9,9 ms	9,3 ms	10,5 ms	10,3 ms

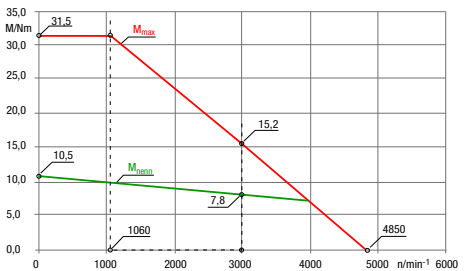
Tabelle 2.13 Technische Daten der Synchron-Servomotoren LSH-097

Techn. Daten	Zeichen	LSH-097-1-30-320	LSH-097-1-30-560	LSH-097-2-30-320	LSH-097-2-30-560	LSH-097-3-30-320	LSH-097-3-30-560
Thermische Zeitkonstante	T_{th}	29 min	29 min	31 min	31 min	33 min	33 min
Massenträgheitsmoment des Läufers	J	1,7 kgcm²	1,7 kgcm²	2,6 kgcm²	2,6 kgcm²	3,5 kgcm²	3,5 kgcm²
Masse	m	4,3 kg	4,3 kg	5,5 kg	5,5 kg	6,7 kg	6,7 kg
Bremse (optional)	J	0,82 kgcm²	0,82 kgcm²	0,82 kgcm²	0,82 kgcm²	0,82 kgcm²	0,82 kgcm²
	m	0,61 kg	0,61 kg	0,61 kg	0,61 kg	0,61 kg	0,61 kg

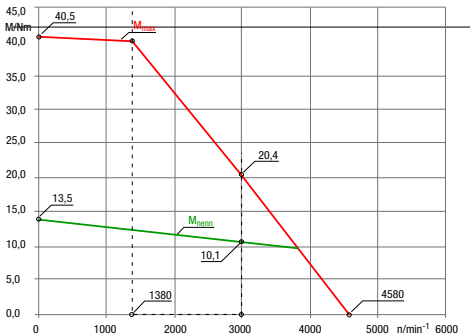
Tabelle 2.13 Technische Daten der Synchron-Servomotoren LSH-097

Synchron-Servomotor LSH-127

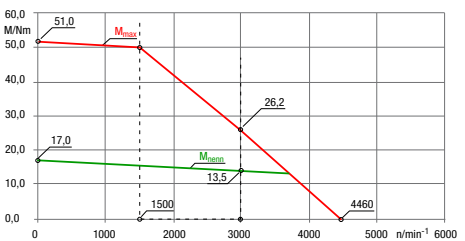
LSH-127-1-30-560



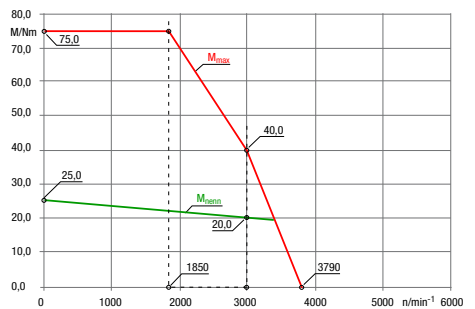
LSH-127-2-30-560



LSH-127-3-30-560



LSH-127-4-30-560



Techn. Daten	Zeichen	LSH-127-1-30-560	LSH-127-2-30-560	LSH-127-3-30-560	LSH-127-4-30-560
Nenndrehzahl	n_n	3000 min^{-1}	3000 min^{-1}	3000 min^{-1}	3000 min^{-1}
Nennfrequenz	f_N	250 Hz	250 Hz	250 Hz	250 Hz
Zwischenkreisspannung (Regler)	U_{dc}	560 V	560 V	560 V	560 V
Nennspannung	U_n	330 V	330 V	330 V	330 V
Nennmoment	M_n	7,8 Nm	10,1 Nm	13,5 Nm	20,0 Nm
Nennstrom	I_n	7,3 A	9,0 A	11,6 A	14,2 A
Stillstandsmoment	M_0	10,5 Nm	13,5 Nm	17,0 Nm	25,0 Nm
Stillstandsstrom	I_0	9,3 A	11,3 A	13,9 A	17,4 A
Maximal zulässiges Moment	M_{max}	32 Nm	41,0 Nm	51,0 Nm	75,0 Nm
Maximal zulässiger Strom	I_{max}	49,0 A	49,0 A	57,0 A	68,0 A
Maximal zulässige Drehzahl	n_{max}	6000 min^{-1}	6000 min^{-1}	6000 min^{-1}	6000 min^{-1}
Spannungskonstante	K_E	68,0 V/1000	72,0 V/1000	74,0 V/1000	87,0 V/1000
Drehmomentkonstante	K_T	1,12 Nm/A	1,19 Nm/A	1,22 Nm/A	1,44 Nm/A
Wicklungswiderstand (zwei Phasen)	R_{2ph}	0,71 Ω	0,48 Ω	0,35 Ω	0,35 Ω
Wicklungsinduktivität (zwei Phasen)	L_{2ph}	11,4 mH	8,5 mH	6,7 mH	6,8 mH
Leerlaufdrehzahl	n_0	4850 min^{-1}	4580 min^{-1}	4460 min^{-1}	3790 min^{-1}
Elektrische Zeitkonstante	T_{el}	16,1 ms	17,7 ms	19,1ms	19,4 ms
Thermische Zeitkonstante	T_{th}	50 min	55 min	60 min	75 min
Massenträgheitsmoment des Läufers	J	6,8 kgcm²	8,3 kgcm²	11,0 kgcm²	15,3 kgcm²
Masse	m	9,5 kg	10,8 kg	13,50 kg	18,5 kg
Bremse (optional)	J	1,85 kgcm²	1,85 kgcm²	1,85 kgcm²	1,85 kgcm²
	m	1,8 kg	1,8 kg	1,8 kg	1,8 kg

Tabelle 2.14 Technische Daten der Synchron-Servomotoren LSH-127

Wahl des Antriebsreglers

Nach der Auswahl des richtigen Motors für Ihre Anwendung, wie in Kapitel 2.1 beschrieben, erfolgt die Bestimmung des passenden Servoreglers.

Hierbei gilt: Der Nennstrom des Antriebsreglers muss mindestens so hoch sein, wie der von der Anwendung (vom Motor) benötigte Effektivstrom:

$$I_{eff\ Antriebsregler} \geq \frac{M_{eff}\ der\ Anwendung}{K_T}$$

.... wobei K_T die Drehmomentkonstante des Servomotors ist [Nm/A] => siehe Motordaten LSH. Die Drehmomentkonstante K_T errechnet sich aus M_0 / I_0

.... weiter gilt: Der kurzzeitig mögliche Maximalstrom des Antriebsreglers muss mindestens so hoch sein, wie der von der Anwendung (vom Motor) benötigte Maximalstrom (z. B. Beschleunigungs- bzw. Bremsmoment).

$$I_{max\ Antriebsregler} \geq \frac{M_{max}\ der\ Anwendung}{K_T}$$

Die Drehmomentkonstante K_T ist im Bereich bis ca. 1,5fachem Stillstandsmoment annähernd konstant. Es ist zu beachten, dass oberhalb des 1,5fachen Stillstandsmoment die Drehmomentkonstante abflacht. Das bedeutet, dass in diesem Überlastbereich überproportional mehr Motorstrom benötigt wird, um eine lineare Steigerung des Motormomentes zu erzielen.

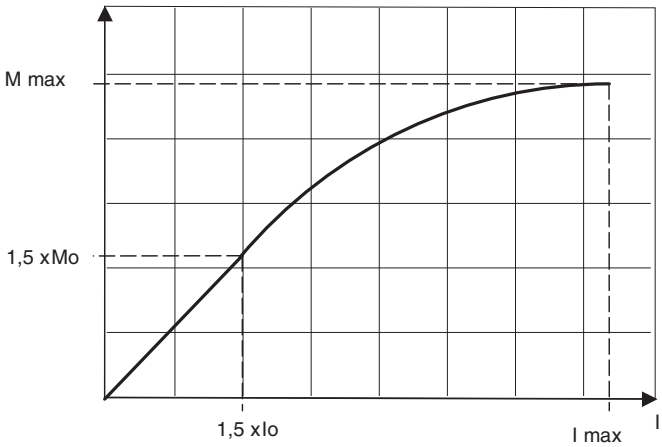


Bild 2.12 Typischer Verlauf der Drehmomentkennlinie in Abhängigkeit des Motorstroms

Die Kennlinie (Bild 2.12) zeigt den typischen Verlauf der Drehmomentkonstante K_T bei Motorstillstand. Wird z. B. in der Anwendung ein Maximalmoment von doppeltem Stillstandsmoment benötigt, liegt man bei der Reglerauswahl auf der sicheren Seite, wenn man an Stelle K_T das Motor-Maximalmoment in das Verhältnis zum Motormaximalstrom setzt.

In diesem Fall gilt näherungsweise:

$$I_{max\ Antriebsregler} \geq \frac{M_{max}\ der\ Anwendung}{\frac{M_{max\ Motor}}{I_{max\ Motor}}}$$

Natürlich entstehen mit steigender Drehzahl auch Verluste im Motor (Eisenverluste und Reibungsverluste). Hierfür wird ebenfalls ein Teil des Motorstroms benötigt, der nicht drehmomentbildend ist. Das spiegelt sich wider in einer fallenden Momentenkennlinie bei steigender Drehzahl:

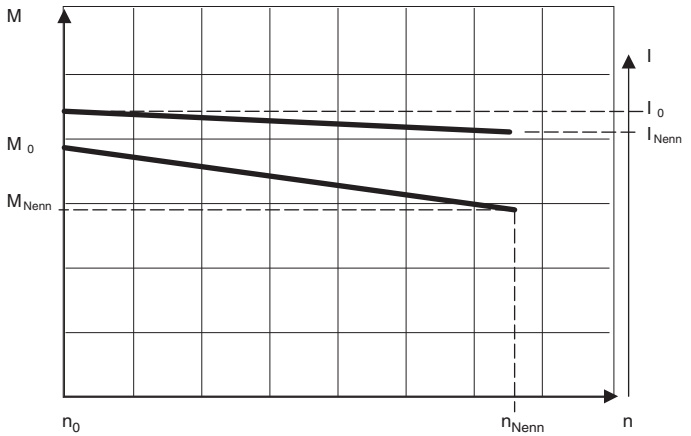


Bild 2.13 Thermisch zulässiges Drehmoment und Motorstrom in Abhängigkeit der Drehzahl

Auf der linken X-Achse ist die Drehmomentenkennlinie über der Drehzahl aufgezeigt, während auf der rechten X-Achse der entsprechende typische Verlauf des Motorstroms dargestellt ist.

Die typische Drehmomentkennlinie zeigt deutlich, dass die Konstante K_T nur im Stillstand gilt, denn:

$$K_T = \frac{M_0}{I_0} > \frac{M_N}{I_N}$$

Im Nennbetrieb kann der erforderliche Motorstrom (= $I_{NennAntriebsregler}$) einfach den Motordaten entnommen werden.

Umrechnungsbeispiel auf andere Motorkennlinie

Ein Synchron-Servomotor benötigt mit steigender Drehzahl lediglich mehr Spannungsreserve. Der benötigte Motorstrom ist hauptsächlich von dem erforderlichen Drehmoment abhängig und wird von der Drehzahl nur geringfügig beeinflusst.

Diese Eigenschaft der Synchron-Servomotoren kann man sich zu Nutzen machen, um durch Anlegen einer höheren Motorspannung eine höhere Drehzahl zu erreichen.

LS-Servomotoren für eine DC-Zwischenkreisspannung (U_{dc}) von 320 V besitzen die selbe Spannungsfestigkeit wie die LS-Servomotoren für eine DC-Zwischenkreisspannung von 560 V (Ausnahme: LST-037-Motoren). Daher darf ein Motor für U_{dc} = 320 V auch mit U_{dc} = 560 V betrieben werden. Durch diese Voraussetzung ist die Möglichkeit geschaffen, den Motor bei höheren Drehzahlen zu betreiben.

- Dieses Verfahren eignet sich nicht für den dauerhaften Betrieb von LSH-Motoren bei höheren Drehzahlen als der angegebenen Nenndrehzahl! Dieses Verfahren ist lediglich zulässig für den kurzzeitigen Betrieb der LSH-Motoren im höheren Drehzahlbereich,
  oder für den dauerhaften Betrieb von LST-Motoren im Drehzahlbereich bis 6000 1/min (gültig für alle LST-Motoren bis Baugröße LST-097).
  Bei einer solchen Antriebsauslegung muss unbedingt beachtet werden, dass sich mit steigender Drehzahl ebenfalls die Motorverluste erhöhen. Um den Motor nicht zu überhitzen, muss deshalb das Nenndrehmoment deutlich reduziert werden.
- Der Betrieb eines LSx-Servomotors mit höherer DC-Zwischenkreisspannung, wie im Datenblatt angegeben, ist nur zulässig, wenn eine schriftliche Freigabe des Projekteurs vorliegt.

Beispiel mit LSH-097-2-30-320

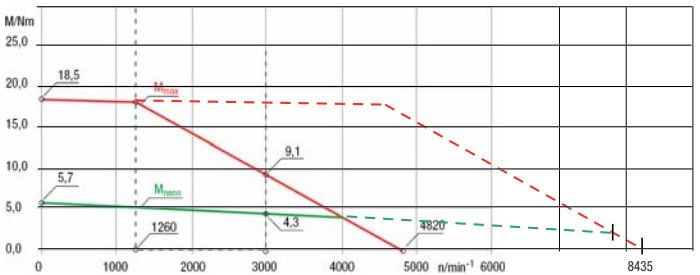
In der Beispielanwendung wird bei 6000 min^{-1} ein Drehmoment von 4 Nm für die Dauer von 10 s benötigt.

Gewählter Motor: Der Motor wird gemäß der Näherungsbetrachtung ausgewählt. Er wird an einem dreiphasigen Servoregler CDx34.xxx (400 V Ausgangsspannung) betrieben.

Näherungsbetrachtung: Annähernd proportional der Spannungsreserve erhöht sich die elektrisch maximal mögliche Drehzahl:

560 V/320 V = 1,75

Wird also ein 320 V-Motor am 560 V-Zwischenkreisregler betrieben, erreicht man theoretisch eine um den Faktor 1,75 höhere Motordrehzahl.
Die Max-Kennlinie wird um den Faktor 1,75 nach rechts verlängert:
(4820 x 1,75 = 8435 min^{-1}).
Die grüne S1-Kennlinie wird unter Beibehaltung ihrer Steigung verlängert:



Diese Erhöhung gilt nur näherungsweise, da hierbei die Eisenverluste, die Ohm'schen Verluste und die induktiven Verluste im Motor hart vernachlässigt wurden. Die tatsächliche Erhöhung der Drehzahlkennlinie fällt niedriger aus. Besonders am hochpoligen LSH-Motor ist aufgrund der hohen Drehfeldfrequenz eine merkliche Erhöhung des Blindspannungsanteils zu erwarten. Dieser Blindspannungsanteil geht der Spannungsreserve und damit auch dem verfügbaren Drehmoment verloren.

Achtung:

- Max. zulässige mechanische Drehzahl des Motors darf nicht überschritten werden.
- Max. mögliche Drehfeldfrequenz des Servoreglers darf nicht überschritten werden.
- Die thermische Auslegung des Motors muss an der Anwendung überprüft werden.

Erste rechnerische Kontrolle:

Gewählter Motor: LSH-097-2-30-320

Die Daten des Synchron-Servomotors LSH-097 ... können diesem Kapitel entnommen werden.

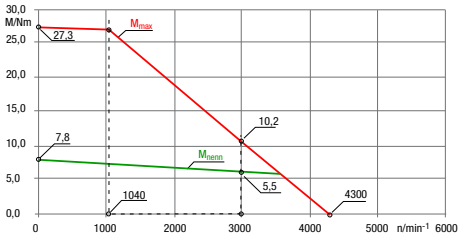


Bild 2.14 Kennlinie LSH -097-2-30-320

Berechnung der maximalen Drehfeldfrequenz:

$$f_{max} = \frac{n_{max} \cdot p}{60} = \frac{6000\ min^{-1} \cdot 5}{60} = 500\ Hz$$

Berechnung des maximalen Motorstroms bei 6000 min^{-1}

$$I_{max.6} = I_n \cdot \frac{M_{max.6}}{M_n} = 6 \cdot 6\ A \cdot \frac{4\ Nm}{4{,}4\ Nm} = 6{,}14\ A$$

Berechnung der maximalen Motorspannung bei 6000 min^{-1}

$$U_{max.6} = K_E \cdot n_{max.6} = \frac{41{,}5\ V}{1000\ min^{-1}} \cdot 6000\ min^{-1} = 249\ V$$

Berechnung der maximalen Spannungsreserve

$$U_{res}\ [\%] = 100 - \left(\frac{100 \cdot U_{max.6}}{U_{max\ Regler}}\right)$$

$$U_{res}\ [\%] = 100 - \left(\frac{100 \cdot 249\ V}{400\ V}\right) = 37{,}75\ \%$$

Es sollte eine Spannungsreserve von 15 bis 20 % vorhanden sein.

Zweite rechnerische Kontrolle

Umrechnen der Effektivwerte in Strangwerte:

Die Strangspannung U_1 setzt sich zusammen aus den Spannungsabfällen am Ständerwicklungswiderstand R_{1ph} und der Ständerstreureaktanz X_{1ph} (Hauptreaktanz X_h wird vernachlässigt) sowie der Polradspannung U_p (Gegen-EMK).

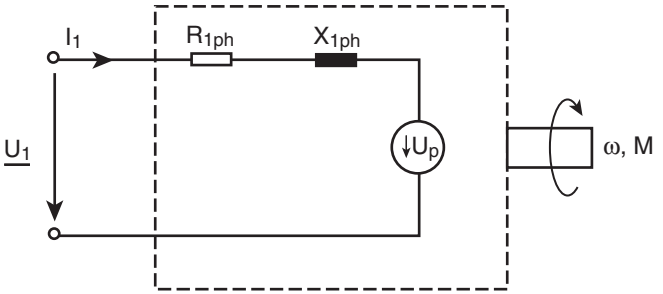
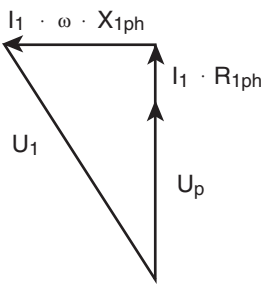


Bild 2.15 Einsträngiges Ersatzschaltbild der Synchronmaschine

Die Spannungsgleichung lautet:

$\underline{U}_1 = (R_{1ph} + j\, X_{1ph}) \cdot I_1 + U_p$



Berechnung der Polradspannung (Gegen-EMK):

$$U_p = \frac{U_{max.6}}{\sqrt{3}} = \frac{249\ V}{\sqrt{3}} = 144\ V$$

Berechnung des Ohm'schen Spannungsabfalls:

$$U_{R1ph} = I_{max.6} \cdot R_{1ph} = I_{max.6} \cdot \frac{R_{2ph}}{2} \cdot 1{,}5^{1)}$$

$$= 6{,}14\ A \cdot \frac{0{,}7\ \Omega}{2} \cdot 1{,}5 = 3{,}2\ V$$

1) Zuschlagsfaktor für heiße Wicklung

Da die Motoren in Stern geschaltet sind, ist der $J_{max.6}$ auch gleich dem $J_{max.6}$ im einsträngigen Ersatzschaltbild.

Berechnung des induktiven Spannungsabfalls:

$$U_{XL1ph} = X_{L1ph} \cdot I_{max.6} = 2 \cdot \pi \cdot f_{max} \cdot I_{max} \cdot \frac{L_{2ph}}{2}$$

$$= \pi \cdot 500\ Hz \cdot 6{,}14\ A \cdot 6{,}9\ mH = 68\ V$$

Berechnung der Strangspannung:

$$U_1 = \sqrt{(U_p + U_{R1ph})^2 + (U_{XL1ph})^2}$$

$$= \sqrt{(144 + 3{,}2)^2 + (68\ V)^2} = 162\ V$$

Berechnung der maximalen Spannungsreserve:

$$U_{ph\text{-}ph} = U_{uv} = U_{vw} = U_{uw} = U_1^{1)} \cdot \sqrt{3} = 281\ V$$

1) Servomotoren sind in Stern geschaltet

$$U_{res}\ [\%] = 100 - \left(\frac{100 \cdot U_1}{U_{max.\ Regler}}\right)$$

$$= 100 - \left(\frac{100 \cdot 281\ V}{400\ V}\right) = 29{,}75\ \%$$

Es sollte eine Spannungsreserve von 15 bis 20% vorhanden sein.

Die Rechnung bestätigt, dass auch bei 15 % Netzunterspannung die benötigte Zwischenkreisspannung genügt, um den Motor mit dem gewünschten Motorstrom bei der Drehzahl von 6000 min^{-1} zu betreiben.

Ebenso kann diese Art der Umrechnung der Motorkennlinie auch verwendet werden, um einen “kleineren” Servoregler bei niedrigen Drehzahlen einzusetzen.

Wenn zum Beispiel ein Motor mit einer Nenndrehzahl von ca. 1500 min^{-1} benötigt wird, so kann ein 560 V-Motor (3000 min^{-1} Nenndrehzahl) an einem einphasig gespeisten Servoregler (am 320 V-DC-Netz) betrieben werden. Dies spart Motorstrom und dadurch Kosten des Antriebsreglers.

Vergleich der verschiedenen Wicklungstechnologien von Synchron-Servomotoren

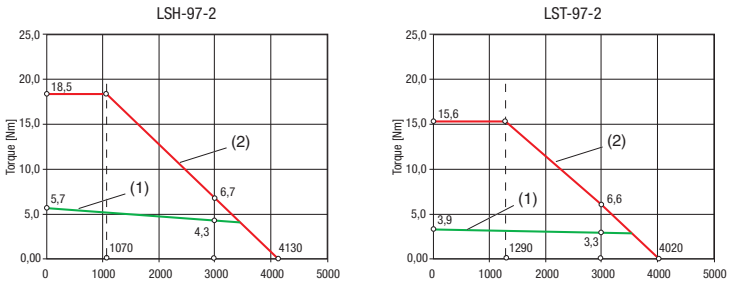
Die neue Wicklungstechnologie von Servomotoren – die sogenannte komprimierte Wicklung – bietet eine Reihe von Vorteilen: kompakte Bauweise, kostengünstige Fertigbarkeit und extrem hohes Drehmoment.

Trotzdem besitzt die konventionelle Wicklungstechnologie – die sogenannte verteilte Wicklung – ihre Daseinsberechtigung.

Am Beispiel der LSH-Baureihe und der LST-Baureihe lassen sich die technischen Merkmale und die Vorteile der jeweiligen Wicklungstechnologien aufzeigen:

	komprimierte Wicklungstechnologie	Konventionell “verteilte” Wicklungstechnologie
Motorbaureihe	LSH	LST
Aufbau	10-poliger Läufer (Ausnahme: LSH-050: 6-polig)	6-poliger Aufbau
Nennfrequenz	250 Hz/3000 min^{-1}	150 Hz/3000 min^{-1}
Rundlaufverhalten am Servoregler CDE/CDD	sehr gut	sehr gut
Baugrößen (Kantenmaß)	LSH-050 bis LSH-127	LST-037 bis LST-220
Trägheitsmoment	ca. 60 % des LST-Motors	100 %
Preis-Leistung	sehr gut	gut

LSH-097-2
Komprimierte Wicklung
<=>
LST-097-2
Konventionelle Wicklung



1) S1-Kennlinie (thermisch zulässiges Dauerdrehmoment)
2) Kurzzeitig mögliches Maximaldrehmoment

Bild 2.16 Gegenüberstellung der Drehmomentkennlinien am Beispiel des LSx-097-2 (gleiche Baugröße)

Der Vergleich der beiden Kennlinien zeigt deutlich die höheren Drehmomente des LSH-Motors gegenüber dem LST-Motor. Das Stillstandsmoment ebenso wie das Nenndrehmoment des LSH sind wesentlich höher als das M_o des LST. Weiterhin lassen die Magnete des LSH-Motors höhere Maximalmomente zu als die Magnete des LST-Motors.

Trotz all dieser Vorteile kann mit dem LSH-Motor nicht jede Anwendung abgedeckt werden:

Grenzen des LSH-Motors/Stärken des LST-Motors

Bedingt durch die hochpolige Ausführung des LSH-Motors ab der Baugröße 074 (10-polig) besitzt er bereits bei einer Nenndrehzahl von 3.000 min^{-1} eine Nennfrequenz von 250 Hz.
Der LST-Motor ist hingegen über alle Baugrößen 6-polig aufgebaut und besitzt daher bei gleicher Drehzahl nur eine Nennfrequenz von 150 Hz.

Mit steigender Motorfrequenz steigen auch die Eisenverluste im Motor überproportional.

Insbesondere bei Sonderwicklungen mit hohen Nenndrehzahlen von bis zu 6.000 min^{-1} schlagen die beim LSH-Motor hohen Motorfrequenzen zu Buche.

Prinzipiell gilt daher für Motorbaugrößen ab 074: Bei Nenndrehzahlen von 4.500 min^{-1} oder höher ist der LST-Motor einzusetzen.

Bei gewünschter Trägheitsmomentenanpassung kann der LST-Motor bessere Regeleigenschaften erzielen als der dynamischere LSH-Motor.

Ist hohe Dynamik gefragt, punktet der LSH-Motor. Ebenso überzeugt der LSH-Motor in Standard-Anwendungen durch seine hohe Leistungsdichte. Darüber hinaus siegt der LSH-Motor im Preisvergleich und mit seinen kompakten Baulängen.

Wie der Vergleich zeigt, entscheidet letztendlich die Anwendung die Wahl der richtigen Wicklungstechnologie.

2.3 Auswahl von DS-Sondermotoren

Sondermotoren werden hauptsächlich an den c-line Antriebsreglern CDA3000 und CDA3000-HF betrieben. Die folgende Tabelle zeigt den typischen Einsatzbereich der Antriebslösung mit Sondermotoren auf.

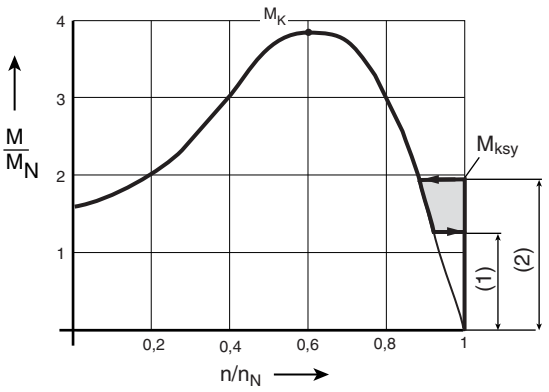
Typische Einsatzgebiete von DS-Sondermotoren

Motorart	Wirkprinzip	Einsatzgebiet
Synchronmotor mit Dämpferkäfig	synchron	In der Textilindustrie für: Aufspulmaschinen, Spinnpumpen, Galettenantriebe, Treibwalzenantriebe usw. Weitere Einsatzgebiete sind in der Glas- und Papierindustrie als Wickelantriebe usw.
Reluktanzmotor	asynchron-synchron	In der Textilindustrie für: Aufspulmaschinen, Spinnpumpen, Galettenantriebe, Treibwalzenantriebe usw. Weitere Einsatzgebiete sind in Streckwerkmaschinen sowie der Synchronlauf von zwei Achsen.
Hochfrequenzmotor	synchron-asynchron	In der Holzverarbeitungsindustrie als Hauptantrieb. Weitere Einsatzgebiete sind Schleif- und Frässpindeln, Zentrifugen, Vakuumpumpen und Wickler.

Tabelle 2.15 Einsatzgebiete von Sondermotoren

2.3.1 Kenngrößen von Reluktanzmotoren

Typische Momentenkennlinie



(1) Intrittfallen $M_{sy} \approx 1,2 \cdot M_N$

(2) Außertrittfallen $M_{ksy} \sim 1,6$ bis $1,8 \cdot M_N$

$M_K \approx 3,5 \cdot M_N$

Bild 2.17 Typische Momentenkennlinie eines Reluktanzmotors bei Netzbetrieb

Der Motor darf nur zum Beschleunigen im Asynchronbetrieb gefahren werden. Bei längerem Asynchronbetrieb wird der Motor zerstört.

Drehmoment in Abhängigkeit des Lastwinkels

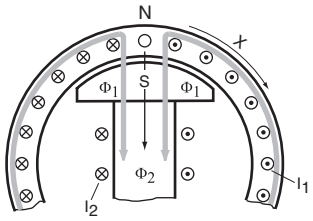
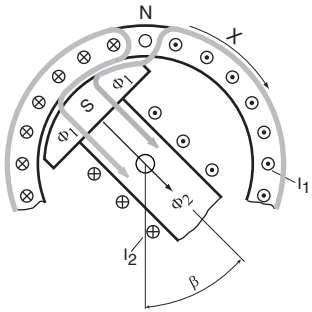
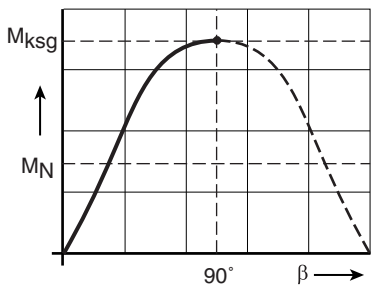
Leerlauf des Reluktanz-/Synchronmotors	Belastung des Reluktanz-/ Synchronmotors
	
Das Ständerfeld Φ 1 stellt mit dem Erregerfeld des Polrades Φ 2 einen festen magnetischen Kraftschluss dar.	Wächst die Belastung an der Welle, stellt sich ein immer größerer Polradwinkel bzw. Lastwinkel ein. Die Drehzahl ist weiterhin synchron.
X Drehrichtung β Lastwinkel	

Tabelle 2.16 Drehmoment in Abhängigkeit des Polradwinkels β (Lastwinkel)



β bezogen auf die Motorwelle		
Polpaar	**β_{MN} typisch**	**β_{Mksg}**
1	20°	45°
2	10°	22,5°
3	6,75°	15°
4	5°	11,25°

Tabelle 2.17 Inneres Moment in Abhängigkeit des Lastwinkels

Inneres Moment (M_i) $M_i = k \cdot \Phi \cdot i \cdot \sin\beta$

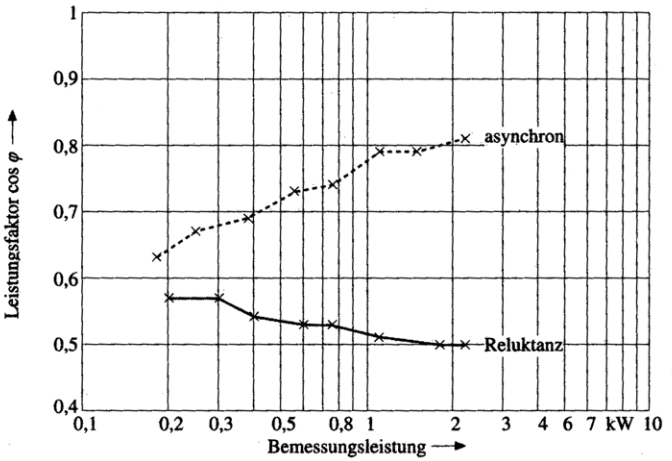


Bild 2.18 Datenvergleich von Reluktanzausführung zu Asynchronausführung einer Reihe ausgeführter vierpoliger Motoren am 50-Hz-Netz-Leistungsfaktor

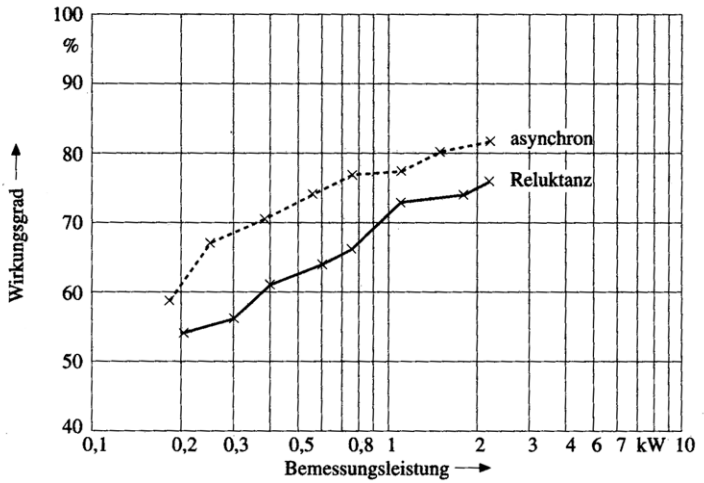


Bild 2.19 Datenvergleich von Reluktanzausführung zu Asynchronausführung einer Reihe ausgeführter vierpoliger Motoren am 50-Hz-Netz-Wirkungsgrad

Projektierungshinweise

Ein DS-Reluktanzmotor ist ein Sondermotor, der vor jedem Serieneinsatz genau getestet werden muss. Es können – je nach Situation – Rundlauf, Wärme, Geräusche oder Schwingungsprobleme auftreten. Die nachfolgende Tabelle gibt in Stichworten an, was eventuell zu beachten ist.

Genaue Aussagen kann jedoch nur der Hersteller des Reluktanzmotors machen.

Thema	Projektierungshinweise
Motorauslegung	Siehe Datenblatt des Herstellers **Tipps:** • Wicklung immer in Sternschaltung (hohe Induktivität) • Motoren für S3 bis S6 Betrieb müssen meistens extra angefragt werden • Motorschutz nur über PTC oder Klixon möglich • Hohe Schwingneigung besonders <25Hz
Antriebsreglerauslegung	Bei statischem Betrieb • I-Antriebsregler ≈ 1,2 · I_N Motor Bei dynamischem Betrieb • I-Antriebsregler ≈ 1,8 · I_N Motor • Abschalten der Softwarefunktion Schlupfkompensation, Lastregelung und Anpassen der u/f-Kennlinie • u/f-Kennlinie mit mindestens 3-6 frei programmierbaren Stützstellen • Bei Frequenzen > 150 Hz muss sehr oft ein zusätzlicher Filter in der Motorleitung eingesetzt werden. • Die max. Ausgangsfrequenz darf nicht größer f_N (Frequenznennpunkt) sein. • Beim Zuschalten von Motoren fließt ein sehr hoher Kurzschlussstrom (typisch bis zum 30-40fachen I_N).

Tabelle 2.18 Projektierungshinweise für Antriebssystem mit Reluktanzmotoren

2.3.2 Kenngrößen von Synchronmotoren mit Dämpferkäfig

Synchronmotor mit Schenkelpolläufer

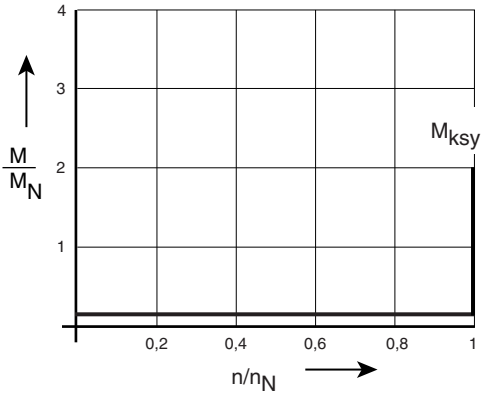
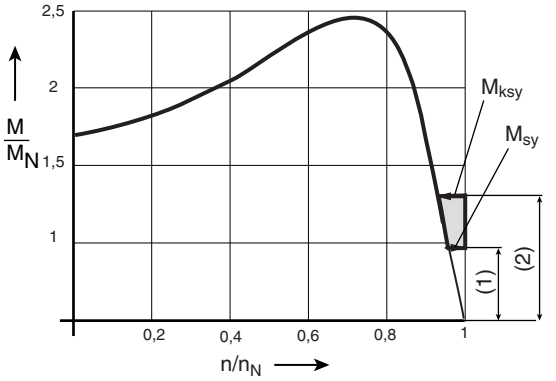


Bild 2.20 Typische Momentenkennlinie eines Synchronmotors mit Schenkelpolläufer

Synchronmotor mit Kurzschlusskäfig und Permanentmagneten



(1) Intrittfallen $M_{sy} \approx 0,9 \cdot M_N$

(2) Außertrittfallen $M_{ksy} \approx 1,35 \cdot M_N$ (entsprechend VDE 0530)

Bild 2.21 Typische Momentenkennlinie eines Synchronmotors mit Kurzschlusskäfig und Permanentmagneten

Drehmoment in Abhängigkeit des Lastwinkels

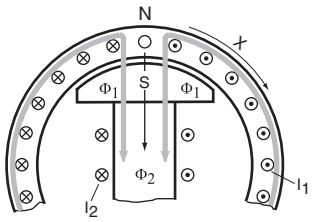
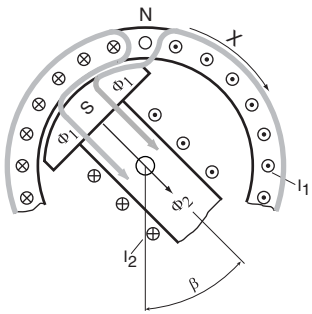
Leerlauf des Reluktanz-/Synchronmotors	Belastung des Reluktanz-/ Synchronmotors
	
Das Ständerfeld Φ 1 stellt mit dem Erregerfeld des Polrades Φ 2 einen festen magnetischen Kraftschluss dar.	Wächst die Belastung an der Welle, stellt sich ein immer größerer Polradwinkel bzw. Lastwinkel ein. Die Drehzahl ist weiterhin synchron.
X Drehrichtung β Lastwinkel	

Tabelle 2.19 Drehmoment in Abhängigkeit des Polradwinkels β (Lastwinkel)

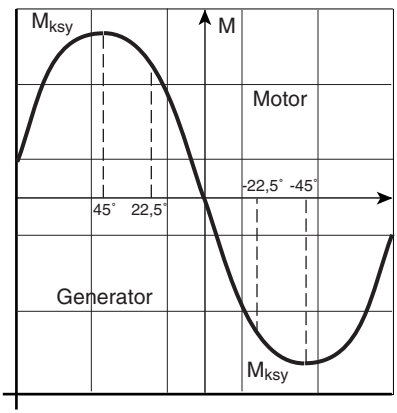


Bild 2.22 Drehmoment in Abhängigkeit des Lastwinkels bei der Synchronmaschine mit Schenkelpolläufer

Projektierungshinweise

Auch ein Synchronmotor ist ein Sondermotor, der vor jedem Serieneinsatz genau getestet werden muss. Es können – je nach Situation – Rundlauf, Wärme, Geräusche oder Schwingungsprobleme auftreten. Die nachfolgende Tabelle gibt in Stichworten an, was eventuell zu beachten ist.

Thema	Projektierungshinweise
Motorauslegung	Genaue Daten siehe Datenheft des Herstellers **Tipps:** • Synchronmotoren mit Kurzschlusskäfig können am Netz und am Antriebsregler betrieben werden. • Das synchrone Kippmoment M_{ksy} beträgt ca. 1,35 x M_N, wird ein höheres Kippmoment benötigt (z. B. 1,6fach), so ist ein Motor mit größerer Leistung zu wählen. • Das vom Hersteller angegebene Fremdträgheitsmoment darf nicht überschritten werden, da sonst der Motor das zum Synchronisieren erforderliche Beschleunigungsmoment nicht aufbringen kann. • Bei kleinen Frequenzen kann der Leerlaufstrom größer sein als der Laststrom. • Motorschutz nur über PTC möglich • Hohe Schwingneigung
Antriebsreglerauslegung	Bei statischem Betrieb mit Stellbereich $\leq$ 1:5 (20-100 Hz) • I-Antriebsregler ~ I_N Motor Bei statischem Betrieb mit Stellbereich $\leq$ 1:5 (20-100 Hz) • I-Antriebsregler ~ 1,2 x I_N Motor Bei Gruppenantrieb • Projektierungshinweise „Mehrmotorenbetrieb“, Kapitel 3.3.9 beachten. Die Anlaufströme für das Zuschalten des Motors auf max. Frequenz können das 30fache des Motornennstroms betragen. • u/f-Kennlinie mit mindestens drei programmierbaren Stützstellen • Abschalten der Softwarefunktion Schlupfkompensation, Lastregelung und Anpassen der u/f-Kennlinie Zum schnellen Synchronisieren sollte der Motor im Frequenzbereich bis 50 Hz mit Stromeinprägung betrieben werden. Bei einzelnen Anwendungen ist es notwendig, den Beschleunigungsvorgang für 10 s bei 5 Hz zu stoppen, damit der Motor Zeit hat, in den Synchronbetrieb überzugehen.

Tabelle 2.20 Projektierungshinweise für permanentmagneterregte Synchronmotoren mit Kurzschlusskäfig für asynchronen Selbstanlauf.

Genaue Aussagen kann jedoch nur der Hersteller des Synchronmotors machen.

2.3.3 Kenngrößen von Hochfrequenzmotoren

Typische Drehmomentkennline einer Hochfrequenzspindel

Beispiel: P = 1,4 kW, I_N = 7 A, U = 220 V

n = 5.000 - 50.000 min^{-1}

Anwendung: Bohren, Fräsen, Schleifen, Gravieren

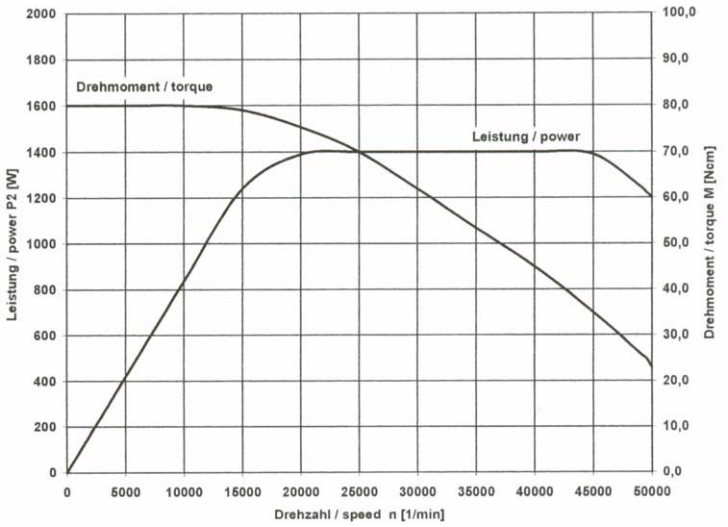


Bild 2.23 Drehmoment-/Leistungskennlinie einer asynchronen Hochfrequenzspindel

Projektierungshinweise:

Ein Hochfrequenzmotor ist im Bezug zu Normmotoren ein Sondermotor mit speziellen Eigenschaften. Die in dieser Sparte typische Domäne der Asynchronmotoren wird im Bereich der geregelten Hochfrequenzmotoren, verstärkt durch permanentgeregelte Synchronmotoren, durchbrochen.

Hochfrequenzmotoren sind vor jedem Serieneinsatz genau zu testen. Voraussetzung hierzu sind die technischen Angaben aus dem Datenblatt des Herstellers.

Es können – je nach Hersteller und Anwendung – Rundlauf, Wärme-, Geräusch- oder Schwingungsprobleme auftreten. Die nachfolgende Tabelle gibt Hinweise, auf was verstärkt zu achten ist bzw. welche Projektierungsvielfalt existiert.

<table>
<tr><th>Thema</th><th>Projektierungshinweise</th></tr>
<tr><td>Motorauslegung</td><td>Voraussetzung: Genaue Daten des Herstellers aus dem Datenblatt des Motors
Tipps:
• Das Drehmoment ist stark von der Drehzahl abhängig.
• Motorschutz über DIN PTC oder Temperaturselbstschalter erforderlich.
• Motorschutz bei speziellen Anwendungen mit Temperaturfühler KTY81-130 möglich.
• Häufig sind besondere Maßnahmen für die Kühlung des Motors erforderlich, z. B.
– Wasserkühlung mittels Spannblock,
– direkte Wasserkühlung,
– Ölkühlung,
– Konvektionskühlung bei reduzierter Ausgangsleistung.
• Typisch ist ein hoher Drehmomentbedarf im unteren Grundstellbereich und ein geringer Drehmomentbedarf im Nennbetrieb.
• Bei Hochfrequenzspindeln ist ein Feldschwächbereich von 1:10 bezogen auf den Grundstellbereich möglich.
Achtung: Dies ist nicht mit geregelten Antrieben realisierbar. Max. Stellbereich 1:2.
• In der Projektierungsphase eines Hochfrequenzmotors sind notwendige Filter/Motordrosseln bei der Auslegung der Nennspannung zu berücksichtigen.
Typischer Spannungsabfall von Filter/Motordrossel:
<table><tr><th>System</th><th>Spannungsabfall</th></tr><tr><td>400 V AC</td><td>60 - 80 V</td></tr><tr><td>230 V AC</td><td>40 - 60 V</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>Gebersystemauslegung</td><td>Gesteuertes System mit Antriebsregler CDA3000
• Auswertung von Rechteckimpulsen mit Pegeln nach Spezifikation der digitalen Steuereingänge (HTL-Geber)
• einfache Stillstandsüberwachung: beliebige Impulszahl pro Umdrehung
• Abkippüberwachung für permanenterregte Synchronmotoren: 1 Impuls/Umdrehung</td></tr>
</table>

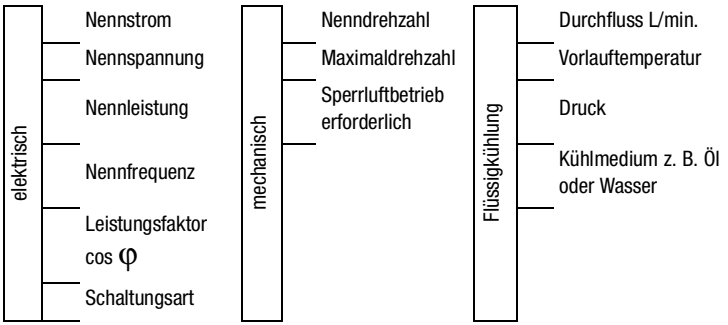
Thema	Projektierungshinweise
Gebersystemauslegung	**Geregeltes System mit Regler** • Auswertung von: – Resolver – sin/cos-Geber – Hall-Sensoren mit Gebersignalen nach Spezifikation der Regler-Gebereingänge **Achtung:** Signalform und Größe sind evtl. über externe elektronische Schaltung anzupassen. Hoher Kostenaufwand - nur bei großer Serienstückzahl sinnvoll.
Antriebsreglerauslegung	• Hochfrequenzmotoren sind im Allgemeinen sehr niederinduktiv, so dass durch das fehlende Tiefpassverhalten keine hohen Frequenzen bedämpft werden. Die Rotorzeitkonstante solcher Motoren ist sehr klein im Vergleich zu Normmotoren oder Servomotoren. • Erwärmung Kompakte Bauweise und geringe Induktivität führen zu starker Erwärmung der Motoren. Dies kann durch Motordrosseln oder Sinusfilter verringert werden. – Durch zusätzliche Induktivität in Form einer Motordrossel erzielt man eine „Glättung“ des Motorstroms. Hohe Frequenzanteile des Stroms (Oberwellen) werden verstärkt bedämpft. – Einen optimalen sinusförmigen Strom kann man mit Sinusfiltern (z. B. LC-Filter) erreichen. Hohe Frequenzanteile des Stroms und der Spannung werden durch diesen Tiefpassfilter herausgefiltert. Die Motorverluste werden minimiert und somit die Erwärmung reduziert. – Für Hochfrequenzmotoren, die mit Drehfrequenzen >800 Hz betrieben werden, wird eine Schaltfrequenz der Antriebsreglerendstufe von 16 kHz (Berechnungsfrequenz 32 kHz) empfohlen. Durch diese Maßnahme steigt die Rundlaufgüte des Motors und die Erwärmung verringert sich. Mit erhöhter Schaltfrequenz sinkt jedoch die Ausgangsleistung des Antriebsreglers.

Thema	Projektierungshinweise
Antriebsregler-auslegung	• du/dt-Filter wirken als Spannungsbegrenzer von Pulsen der modulierten Ausgangsspannung. – Sie begrenzen die Spannungsanstiegsgeschwindigkeit der PWM-Spannung und schonen die Motorwicklung. – Sehr geringe Tiefpassfilterung, d. h. so gut wie keine Reduzierung der Erwärmung des Motors • gesteuertes System – u/f-Kennlinie mit mindestens 3-6 frei programmierbaren Stützstellen – Regeln für Mehrmotorenbetrieb beachten – Spannungsabfall in Abhängigkeit der Induktivität des Filters, der Frequenz und des Stroms beachten. Der Spannungsabfall führt zu einer Flussreduzierung und Verringerung des Drehmoments des Motors. – Hohe Leerlaufströme führen zu starker Erwärmung und sind nach Möglichkeit durch Spannungsabsenkung im Leerlauf zu reduzieren. • geregeltes System – Sinus-Filter (LC-Filter) sind in der Regelstrecke zu berücksichtigen. – Motordrosseln können der Streuinduktivität des Motors hinzugerechnet werden, wenn sie nicht als eigene Regelstrecke berücksichtigt werden. – Der Spannungsabfall wird durch die Regelstrecke Filter/ Drossel erfasst und für die Regelung des Motors berücksichtigt.

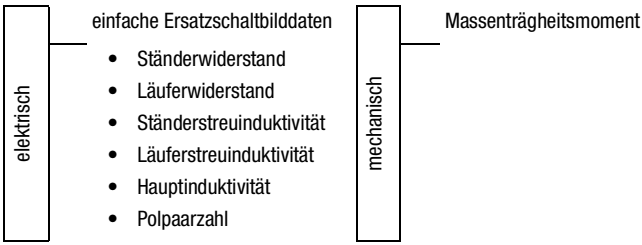
Folgende Angaben sind für die Inbetriebnahme und Tests erforderlich:

Luft- und flüssiggekühlte Hochfrequenzmotoren

➢ geregelte und gesteuerte Systeme



➢ zusätzlich nur bei geregelten Systemen



Des weiteren sind im Vorfeld für Tests im Hause LTi folgende Bedingungen für eine zügige Bearbeitung zu erfüllen:

➢ Motoranschluss mit Sonderstecker ohne Klemmbrett?
- Gegenstecker mit offenem Kabelende beistellen

➢ Sperrluftbetrieb für Lagerschmierung?
- Angabe des Luftdrucks erforderlich
- Ölereinheit mit Anschlussschläuchen beistellen
- passende Anschlussschläuche mit offenem Ende mitliefern

➢ Wasserkühlung erforderlich?
- passende Anschlussschläuche mit offenem Ende mitliefern
- max. Wasserdruck und Durchfluss angeben

➢ Lagerung des Hochfrequenzmotors bereits eingelaufen?
- Angabe des Einlaufspiels zwingend notwendig
- Werkzeugfutterkopf bei Hochfrequenzspindeln erforderlich

2.4 Auswahl von Gebern

Geregelte Antriebssysteme benötigen zur Messung der Position und Drehzahl einen Geber. Motoren mit magnetischer Vorzugsrichtung, wie z. B. Synchronmotoren benötigen nach Systemstart zusätzlich den absoluten Winkel der Rotorlage.

Grundsätzlich liefern alle in diesem Kapitel beschriebenen Geber eine Lage- bzw. Positionsinformation, aus der im Antriebsregler mittels verschiedener mathematischer Verfahren die Drehzahl berechnet wird.

- Dieses Kapitel behandelt ausschließlich rotative Gebersysteme. Die Eigenschaften und Messverfahren linearer Gebersysteme ist in Analogie zu deren rotativen „Geschwistern“ zu sehen.
- Es werden nur Geber behandelt, die mit den Reglern der c-line DRIVES ausgewertet werden können.

2.4.1 Typenübersicht

In diesem Kapitel werden die für die c-line DRIVES geeigneten Gebersysteme in folgenden Punkten beschrieben:

- Signalart, Signalspuren und Signalpegel
- Auswertungsverfahren für die Lage- und Drehzahlbestimmung im Antriebsregler

Inkrementalgeber

Funktionsprinzip

Inkrementalgeber wandeln die mechanische Drehzahl in eine Anzahl von Pulsen.

Bei dem Verfahren der photoelektrischen Abtastung wird zwischen einer LED und einer Empfangseinheit eine Scheibe (Glas, Metall oder Kunststoff) drehbar gelagert. Auf dieser ist ein Strichgitter aufgebracht. Das von der LED ausgesendete Licht wird durch die Blende und das Strichgitter moduliert und trifft auf die Empfangseinheit, die ein der Helligkeit proportionales Signal liefert. Bei Drehung der Scheibe hat dieses Signal einen annähernd sinusförmigen Verlauf. Die Anzahl der Striche bestimmt die Auflösung, d. h. die Messpunkte innerhalb einer Umdrehung.

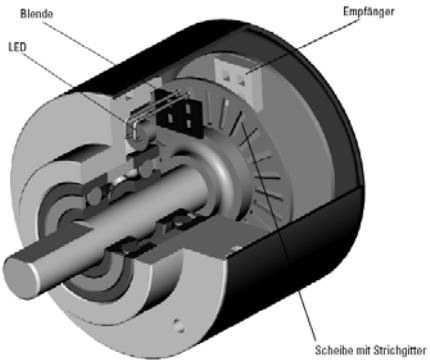


Bild 2.24 Aufbau eines Inkrementalgebers (Quelle: Kübler)

Die sinusförmigen Signale werden in der Geberelektronik weiterverarbeitet. Die Antriebsregler der c-line DRIVES erfordern je nach Gebereingang digitale (rechteckförmige) oder analoge (sinusförmige) Signale. Daher

werden die Signale bereits im Drehgeber entsprechend aufbereitet und je nach Einsatzbereich durch verschiedene Ausgangsschaltungen bereitgestellt.

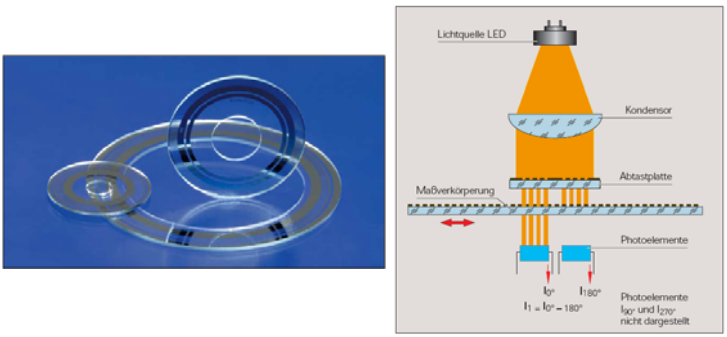


Bild 2.25 Kreisteilungen und photoelektrisches Messprinzip bei inkrementellen Gebern (Quelle: Heidenhain)

Einige Inkrementalgeber arbeiten heute nach anderen Abtastverfahren. Manche haben als Maßverkörperung eine permanentmagnetisierte Teilung, die über magneto-resistive Sensoren abgetastet wird. Beim induktiven Abtastprinzip verwendet man Teilungsstrukturen auf Kupfer/Nickel-Basis. Ein hochfrequentes Signal wird hier durch die bewegten Teilungsstrukturen in seiner Amplitude und Phasenlage moduliert.

TTL- und HTL-Geber

Geber mit TTL- oder HTL-Ausgangssignalen liefern rechteckförmige Signale. Sie haben zwei Spuren und eine Nullimpulsspur. Die zwei elektrisch um 90° versetzten Sensoren im Geber liefern an den Spuren A und B zwei Folgen von Impulsen. Spur A hat bei Rechtsdrehung (im Uhrzeigersinn) mit Blick auf die Motorwelle (A-Seite) 90° Voreilung gegenüber B. Über diese Phasenbeziehung wird die Drehrichtung des Motors ermittelt. Der Nullimpuls (ein Impuls pro Umdrehung) wird mit einer dritten Lichtschranke im Geber erfasst und als Referenzsignal an Spur R zur Verfügung gestellt.

Bei TTL-Gebern werden die Spuren A+, B+ und R+ im Geber invertiert und als invertierte Signale an den Spuren A-, B- und R- zur Verfügung gestellt. Die Übertragung erfolgt über eine RS422-Schnittstelle (siehe Kapitel 2.4.4, "Schnittstellen").

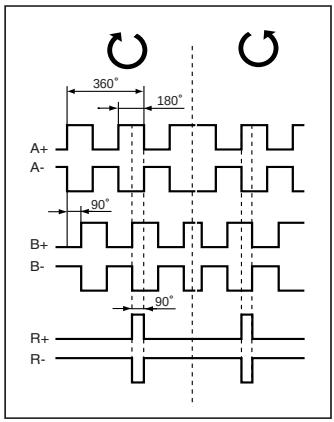


Bild 2.26 TTL-Signale mit Nullspur und invertierten Signalen (RS422)
HTL-Signale mit Nullspur, aber ohne invertierte Signale

TTL-Geber erfordern eine Spannungsversorgung von 5 V_{DC} ± 5 %. Zur Sicherstellung dieser Toleranz sind zusätzliche Sensorleitungen erforderlich (siehe Kapitel 2.4.4, "Schnittstellen").

HTL-Geber werden bei den c-line DRIVES ohne die invertierten Spuren ausgewertet, es ist keine differenzielle Signalauswertung möglich. Die HTL-Signale sind deshalb anfällig für Störungen auf der Leitung, dies kann sich ungünstig auf das EMV-Verhalten auswirken.

Die HTL-Signalpegel betragen $U_{Low} \leq 3$ V und $U_{High} \geq U_B$ minus 3,5 V. U_B ist die Versorgungsspannung des Gebers, sie kann im Bereich von 10 ... 30 V_{DC} liegen, üblich sind beim Antriebsregler 24 V_{DC} ± 20 %. HTL-Geber benötigen keine Nachregelung der Versorgungsspannung und deshalb auch keine Sensorleitungen. Durch den großen Spannungshub U_{High}-U_{Low} haben die HTL-Geber eine hohe Stromaufnahme, dies muss bei der Auslegung der Geberversorgung berücksichtigt werden.

Grundlage zur Lagebestimmung bei TTL- und HTL-Gebern ist die Umwandlung der Rechtecksignale in Zählimpulse. Wie in Bild 2.27 dargestellt, erzeugt jeder Flankenwechsel einen Zählimpuls. So ist eine 4fach-Auswertung der Lage möglich, da in jeder Periode einer Rechteckschwingung 4 Zählimpulse erzeugt werden. D. h., die Auflösung der Lage wird um den Faktor 4 (2 Bit) vergrößert. Zur Berücksichtigung eines Drehrich-

tungswechsels werden die Zählimpulse einem Aufwärts-Abwärts-Zähler zugeführt. Die Anzahl der Zählimpulse berechnet sich somit aus der Differenz von UP- und DOWN-Impulsen.

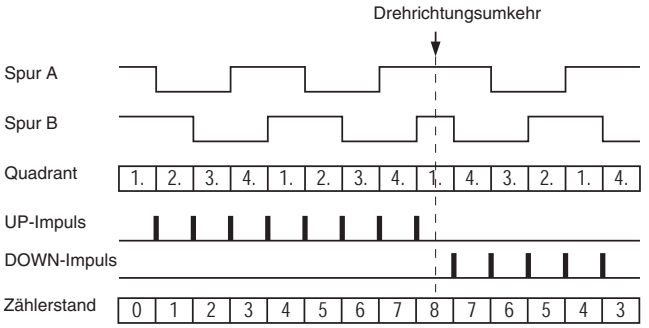


Bild 2.27 4fach-Auswertung bei TTL- und HTL-Inkrementalgebern

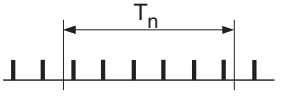
Die maximale Winkelauflösung bzw. die kleinste Winkel-Schrittweite $\Delta\varepsilon$ in Abhängigkeit von der Strichzahl des Gebers sowie die Lage ε berechnen sich demzufolge nach:

$$\Delta\varepsilon = \frac{360°}{\text{Strichzahl} \times 4} \qquad \varepsilon = \sum \text{Impulse} \times \Delta\varepsilon$$

Beispiel: Die Lageauflösung eines Gebers mit 1024 Strichen/Umdrehungen ($1024 = 2^{10}$ entspricht 10 Bit) wird durch die 4fach-Auswertung auf 12 Bit vergrößert. Das entspricht einer Winkelauflösung von $\Delta\varepsilon = 360°/2^{12} = 0{,}088° = 5$ Winkelminuten.

Die Drehzahl wird aus der Lageänderung und der daraus resultierenden Impulszähleränderung innerhalb der Abtastzeit der Drehzahlerfassung T_n berechnet. Die Abtastzeit T_n bei den Antriebsreglern der c-line DRIVES liegt dabei zwischen 125 µs (8 kHz) und 250 µs (4 kHz). Zur Realisierung einer möglichst genauen Drehzahlberechnung wird ein kombiniertes Verfahren aus Impulszählung und Impulsdauermessung verwendet.

- Impulszählung
  Bei der Impulszählung wird die Drehzahl aus der Summe der Impulse pro Abtastzeit T_n berechnet. Dieses Verfahren ist optimal für große Drehzahlen, da hier in einem Abtastintervall viele Impulse auftreten.



$$n[\text{min}^{-1}] = \frac{\sum \text{Impulse}}{T_n \times 4 \times \text{Strichzahl}} \times 60$$

Bild 2.28 Impulszählung

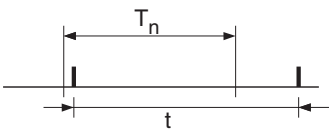
Bei kleinen Drehzahlen ist dieses Verfahren ungeeignet, da diese nicht mehr darstellbar sind. Diese werden als 0 min^{-1} dargestellt. Beispiel für die kleinste darstellbare Drehzahl mit dem Impulsverfahren:

$$\text{Geberstrichzahl} = 1024$$

$$T_n = 250\ \mu s$$

$$n_{min}[min^{-1}] = \frac{1}{250\ \mu s \times 4096} \times 60 s \approx 59\ min^{-1}$$

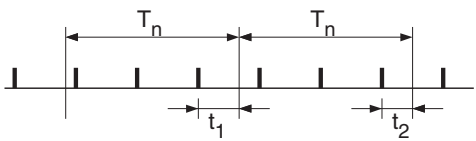
- Impulsdauermessung
  Bei der Impulsdauermessung wird die Drehzahl aus der Zeit t, in der ein Impuls aufgetreten ist, berechnet. Dieses Verfahren ist optimal für kleine Drehzahlen, da hier die Zeitmessung sehr genau ist. Bei großen Drehzahlen ist dieses Verfahren ungeeignet, da die Zeitmessung durch die Auflösung der Zeitmessung der Elektronik begrenzt ist.



$$n[min^{-1}] = \frac{1}{t \times 4 \times \text{Strichzahl}} \times 60$$

Bild 2.29 Impulsdauermessung

- Kombiniertes Verfahren
  Beim kombinierten Verfahren wird auf Basis der Abtastzeit die genaue Zeit, in der die Impulse aufgetreten sind, ermittelt. Somit wird der gesamte Drehzahlbereich optimal ermittelt.



$$n[min^{-1}] = \frac{\sum \text{Impulse}}{(1+k)T_n + t_1 - t_2} \times \frac{60}{4 \times \text{Strichzahl}}$$

Bild 2.30 Kombiniertes Verfahren

Tritt in einem Abtastzeitraum T_n kein Impuls auf, so wird keine neue Drehzahl berechnet, sondern nur die Abtastzeit bzw. der Faktor k um 1 erhöht. Bei den Antriebsreglern der c-line DRIVES wird die Messzeit bis auf 5 ms erweitert. Tritt innerhalb dieser Zeit kein Impuls auf, so wird die Drehzahl

auf 0 min^{-1} gesetzt. Durch die Vergrößerung der Messzeit kann gegenüber der reinen Impulszählung der darstellbare Drehzahlbereich hin zu kleinen Drehzahlen vergrößert werden.

Beispiel für die kleinste darstellbare Drehzahl bei Nutzung des kombinierten Verfahrens:

$$\text{Geberstrichzahl} = 1024$$

$$n_{min}\ [min^{-1}] = \frac{1}{0{,}005\ s} \times \frac{60\ s}{4 \times 1024} = 2{,}93\ min^{-1}$$

Eine Vergrößerung des Abtastzeitraumes bedeutet auch die Vergrößerung der Abtastzeit des Drehzahlregelkreises, was sich reduzierend auf die zulässige Reglerverstärkung und damit auf die Steifigkeit an der Motorwelle auswirkt. Die reduzierte Drehzahl-Reglerverstärkung bei 0 min^{-1} ist bei den c-line DRIVES prozentual von der Nennverstärkung einstellbar. Ab der Drehzahl, in der nicht mehr mindestens 1 Impuls pro Abtastintervall auftritt (berechenbar mit Gleichung aus Bild 2.28), wird die Verstärkung linear von der Nennverstärkung bis zur Verstärkung bei 0 min^{-1} reduziert.

Die berechnete Istdrehzahl wird zur Kompensation der Auswirkung des Jittereffekts des Inkrementalgebers mittels eines Filters geglättet. Der Jittereffekt beruht auf einer Schwankung der Flankenimpulslage der beiden Geberspuren.

sin/cos-Geber (SinCos)

Geber mit hochauflösenden sin/cos-Signalen, sogenannte sin/cos-Geber, liefern zwei um 90° versetzte Sinussignale. Es werden die Anzahl der Sinuskurven (entspricht der Impulszahl), die Nulldurchgänge und die Amplituden (Arcustangens) ausgewertet. Dadurch kann die Drehzahl mit sehr hoher Auflösung ermittelt werden. Dieser Geber ist für Antriebe geeignet, die mit großem Stellbereich betrieben werden und auch kleine Drehzahlen ruckfrei fahren müssen.

Die sin/cos-Geber haben zwei Spuren und eine Nullimpulsspur, mit der Invertierung sind es dann sechs Spuren. Die zwei um 90° versetzten Sinussignale liegen auf Spur A und B. Als Nullimpuls wird eine Sinushalbwelle pro Umdrehung an Spur R zur Verfügung gestellt. Die Spuren A+,

B+ und R+ werden im Geber invertiert und als invertierte Signale an den Spuren A-, B- und R- zur Verfügung gestellt. Die Übertragung erfolgt über eine RS422-Schnittstelle (siehe Kapitel 2.4.4, "Schnittstellen").

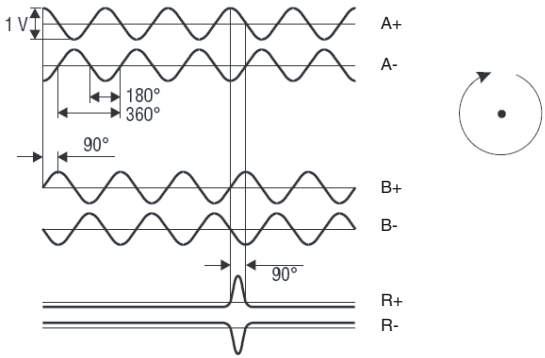


Bild 2.31 sin/cos-Signale mit Nullspur und invertierten Signalen (RS-422)

Die sin/cos-Signale werden einer Gleichspannung von 2,5 V überlagert. Die Spitzen-Spitzen-Spannung beträgt U_{SS} = 1 V. Somit werden Nulldurchgänge bei der Signalübertragung vermieden. sin/cos-Geber erfordern eine Spannungsversorgung von 5 V_{DC} ± 5 %. Zur Sicherstellung dieser Toleranz sind zusätzliche Sensorleitungen erforderlich (siehe Kapitel 2.4.4, "Schnittstellen").

Die Auswertung der sin/cos-Geber erfolgt in ähnlicher Form wie die der TTL- und HTL-Geber. Zusätzlich ist aber die Auswertung der analogen Signale zur Verbesserung der Lageauflösung möglich.

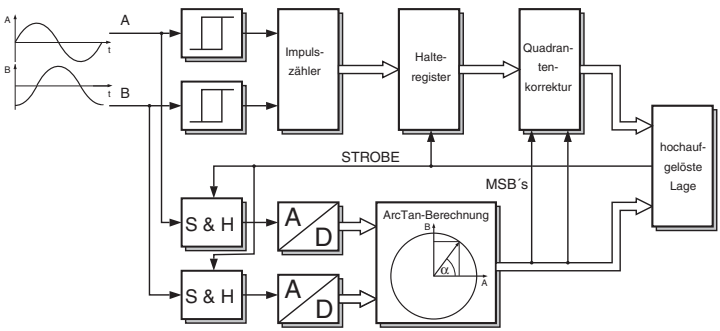


Bild 2.32 Auswertung von sin/cos-Gebern

Die sinusförmigen Signale werden impulsgeformt und die Impulse anschließend wie beim TTL- und HTL-Geber gezählt.

Ein zweiter Kanal erfasst die analogen Signale mit Analog-Digital-Umsetzern. Die Position innerhalb eines Quadranten (Viertel einer Sinusschwingung) der Sinusschwingung wird über die Arcustangens-Funktion

$$\alpha = \arctan\frac{\text{Spur B}}{\text{Spur A}}$$

berechnet. Damit diese Position innerhalb einer Sinusschwingung mit der der Impulszählung konvergiert, muss die Abtastung beider Signalpfade zeitgleich erfolgen. Durch Signallaufzeiten tritt hier unter Umständen eine Verschiebung von +/-1 Impuls auf, die aber mittels einer Quadrantenkorrektur korrigiert wird.

Abschließend wird die Lage aus der Impulszählung mit der aus der Arcustangens-Berechnung zu einer hochaufgelösten Lage verknüpft.

Beispiel mit einem sin/cos-Geber mit 1024 Strichen und einem Analog-Digital-Umsetzer mit 12 Bit Auflösung:

- 12 Bit Lageauflösung durch Impulszählung mit 4fach Auswertung
- 12 Bit Lageauflösung innerhalb einer Sinusschwingung

➢ Gesamtauflösung von 24 Bit innerhalb einer Umdrehung. Das entspricht einer Winkelauflösung von $\Delta\varepsilon = 360°/2^{24} = 0{,}000002° = 0{,}08$ Winkelsekunden.

Die Winkelgenauigkeit von eigengelagerten sin/cos-Gebern beträgt in der Regel 20 Winkelsekunden, was einer Lageauflösung von ca. 16 Bit/Umdrehung entspricht. Die darüber hinausgehende Auflösung (im Beispiel 24 Bit) wird lediglich zur Berechnung der Drehzahl genutzt. Durch die hohe Auflösung ist sichergestellt, dass während eines Abtastintervalls T_n der Drehzahlerfassung immer eine Lageänderung erfolgt. Die Drehzahl berechnet sich somit aus der Lageänderung pro Abtastzeit T_n.

$$n = \frac{\varepsilon_k - \varepsilon_{k-1}}{T_n}$$

Absolute Geber

Absolute Geber werden immer dort benötigt, wo nach dem Einschalten direkt eine absolute Lageinformation erforderlich ist. Das kann u. a. sein bei

- Synchronmotoren zur Ermittlung der Polradlage oder
- Maschinen, die vor dem Betriebsbeginn keine Bewegung zur Referenzierung zulassen.

Bei den absoluten Gebern unterscheidet man zwischen Single- und Multiturn-Gebern.

- Singleturn-Geber liefern nach Einschalten eine absolute Lageinformation innerhalb einer Umdrehung.

- Multiturn-Geber stellen zusätzlich eine absolute Lage über mehrere Umdrehungen zur Verfügung.

Funktionsprinzip

Die Singleturn-Drehgeber haben als Maßverkörperung eine Teilscheibe aus Glas mit mehreren Teilungs- bzw. Codespuren mit Gray-Code. Jeder Winkelposition ist ein eindeutiges Codemuster zugeordnet. Mit diesem Codemuster wird die absolute Position der Motorwelle bestimmt. Die Besonderheit beim Gray-Code ist, dass beim Übergang von einem auflösbaren Winkelschritt zum nächsten sich jeweils nur ein Bit ändert. Der mögliche Ablesefehler beträgt deshalb maximal 1 Bit.

In geringem Abstand gegenüber der drehbaren Teilscheibe sind eine oder mehrere Abtastplatten angeordnet, die den Teilungs- bzw. Codespuren zugeordnete Abtastfelder tragen.

Jede Abtastplatte wird von einem parallel ausgerichteten Lichtbündel durchstrahlt, das von einer Beleuchtungseinheit – bestehend aus LED und Kondensor – ausgeht. Bei einer Drehung der Teilscheibe wird der Lichtstrom moduliert und seine Intensität von Photoelementen erfasst.

Bei absoluten Drehgebern, die zusätzlich Inkrementalsignale ausgeben, sind der feinsten Spur vier Abtastfelder zugeordnet. Die vier Strichgitter der Abtastfelder sind jeweils um ein Viertel der Teilungsperiode (Teilungsperiode = 360°/Strichzahl) zueinander versetzt.

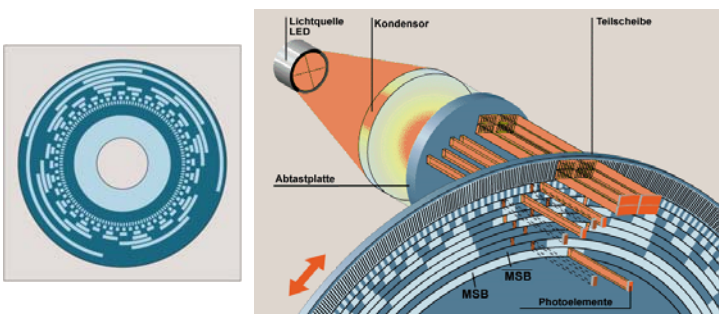


Bild 2.33 Codescheibe und photoelektrisches Messprinzip bei absoluten Gebern (Quelle: Heidenhain)

Multiturn-Drehgeber haben zur Bestimmung der Position innerhalb einer Umdrehung denselben Aufbau wie Singleturn-Drehgeber. Zur Erzeugung der Multiturn-Information existieren verschiedene Varianten.

- Zusätzliche Scheibe über Getriebe
  Die Maßverkörperung zur Unterscheidung der Anzahl an Umdrehungen besteht aus permanent magnetischen Kreisteilungen (z. B. Heidenhain) oder gray-codierten Glasscheiben (z. B. Stegmann), die über ein Getriebe miteinander verbunden sind. Die Abtastung erfolgt im erstem Fall über digitale Hall-Sensoren im zweiten Fall mittels photoelektrischer Abtastung.

- Elektronische Multiturn-Erzeugung
  Hier wird mittels einer elektronischen Lösung mit Magnetfeldsensoren die Multiturn-Information gebildet und in einem batteriegepufferten Speicher abgelegt (z. B. Kübler).

Geber mit SSI-Schnittstelle

SSI-Absolutwertgeber übertragen die Position über die serielle SSI-Schnittstelle (**S**ynchronous **S**eriell **I**nterface). Diese Schnittstelle ermöglicht eine reine digitalserielle Übertragung der Position.

Bei der Übertragung der absoluten Positionsinformation wird synchron zu einem vom Antriebsregler vorgegebenen Takt (CLOCK) der absolute Positionswert beginnend mit dem „most significant Bit" (MSB) übertragen (MSB first). Die Datenwortlänge beträgt dabei nach SSI-Standard bei Singleturn-Gebern 13 Bit und bei Multiturn-Gebern 25 Bit (13 Bit Singleturn-Information und 12 Bit Multiturn-Information, d. h. 4096 Umdrehungen).

Im Ruhezustand liegen Takt- und Datenleitungen auf dem High-Pegel. Mit der ersten fallenden Taktflanke wird der aktuelle Messwert in einem Parallel/Seriell-Wandler gespeichert. Die Datenübertragung erfolgt mit der ersten steigenden Taktflanke. Nach Übertragung eines vollständigen Datenwortes bleibt der Datenausgang auf dem Low-Pegel, bis der Drehgeber für einen neuen Messwertabruf bereit ist (t_2). Kommt während dieser Zeit eine neue Datenausgabe-Anforderung (CLOCK), werden die bereits ausgegebenen Daten nochmals ausgegeben.

Bei einer Unterbrechung der Datenausgabe (CLOCK = High für $t > t_2$) wird mit der nächsten Taktflanke ein neuer Messwert gespeichert. Die Folge-Elektronik übernimmt mit der nächsten steigenden Taktflanke die Daten.

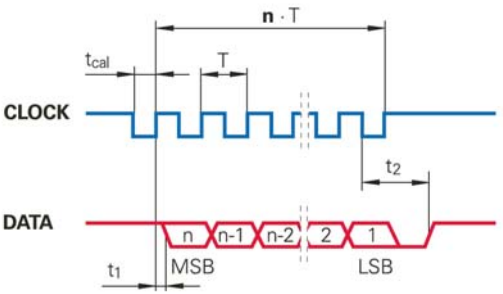


Bild 2.34 Datenübertragung beim SSI-Absolutwertgeber (Quelle: Heidenhain)

Die Spuren CLOCK+ und DATA+ werden im Geber invertiert und als invertierte Signale an den Spuren CLOCK und DATA zur Verfügung gestellt. Die Übertragung erfolgt über eine RS422/485-Schnittstelle (siehe Kapitel 2.4.4, "Schnittstellen").

SSI-Absolutwertgeber erfordern eine Spannungsversorgung von 5 V_{DC} ± 5 %. Zur Sicherstellung dieser Toleranz sind zusätzliche Sensorleitungen erforderlich (siehe Kapitel 2.4.4, "Sensorleitungen").

Bei den verschiedenen absoluten Drehgebern werden zusätzlich zur seriellen Datenübertragung sinusförmige Inkrementalsignale A, B mit Signalpegeln von 1 V_{SS} ausgegeben. Zur Signalbeschreibung siehe Kapitel 2.4.1, "sin/cos-Geber (SinCos)".

Bei reinen Absolutwertgebern, also Gebern ohne zusätzliche inkrementelle Signale, wird die Lage zyklisch mit jedem Abtasttakt der Drehzahlerfassung über die SSI-Schnittstelle ausgelesen. Die Abtastzeit T_n bei den Antriebsreglern der c-line DRIVES liegt dabei zwischen 125 µs (8 kHz) und 250 µs (4 kHz). Die maximale Winkelauflösung bzw. die kleinste Winkel-Schrittweite $\Delta\varepsilon$ in Abhängigkeit von der Singleturn-Auflösung des Gebers berechnet sich nach:

$$\Delta\varepsilon = \frac{360°}{2^{\text{Singleturn – Aufloesung[Bit]}}}$$

Beispiel: Die Singleturn-Auflösung eines Gebers beträgt 13 Bit. Das entspricht einer Winkelauflösung von $\Delta\varepsilon = 360°/2^{13} = 0{,}044° = 2$ Winkelminuten.

Die Drehzahl wird ähnlich wie bei dem Verfahren der Impulszählung berechnet.

$$n[\text{min}^{-1}] = \frac{\Delta\text{Bit}}{T_n \times 2^{\text{Singleturn – Aufloesung[Bit]}}} \times 60$$

$$\Delta\text{Bit} = \text{Bitänderung im Abtastintervall k}$$

Die kleinste darstellbare Drehzahl ergibt sich, wenn die Lagedifferenz im Abtastintervall 1 Bit ist. Darunter wird die Drehzahl = 0 min^{-1} gesetzt.

Beispiel:

Singleturn-Auflösung = 13 Bit

T_n = 250 µs

$$n_{min}\ [\text{min}^{-1}] = \frac{1}{250\ \mu s \times 2^{13}} \times 60\ s \approx 29{,}3\ \text{min}^{-1}$$

Bei Absolutwertgebern mit zusätzlichen Inkrementalsignalen erfolgt die Auswertung wie beim klassischen sin/cos-Geber (siehe Kapitel 2.4.1, "sin/cos-Geber (SinCos)"). Daher sind auch sehr kleine Drehzahlen messbar. Die Absolutposition wird in der Regel nur einmalig beim Systemstart gelesen und damit die Lageberechnung initialisiert. Anschließend werden nur noch die inkrementellen Signale ausgewertet.

Geber mit Hiperface-Schnittstelle (RS-485)

Absolutwertgeber mit einer Hiperface-Schnittstelle besitzen eine asynchrone, halbduplex serielle Schnittstelle (ASI - **A**synchronous **S**eriell **I**nterface) zur Übertragung der Absolutposition. Sie entspricht physikalisch der EIA RS-485 Spezifikation. Geber mit Hiperface-Schnittstelle werden exklusiv von der Fa. Stegmann hergestellt. Sie sind in der Regel als Einbaugeber für Servomotoren ausgeführt.

Eine taktsynchrone Übertragung der Position ist nicht möglich, so dass für die zyklischen Lage- und Drehzahlberechnung, als Prozessdatenkanal, zusätzliche sinusförmige inkrementelle Signale übertragen werden.

Die Schnittstelle zum Geber ermöglicht die Übertragung von Diagnosedaten des Gebers oder auch das Speichern von Antriebsreglerkonfigurationen. Diese Funktionen werden jedoch nicht von den Antriebsreglern der c-line DRIVES unterstützt.

Die Geber werden mit einer Spannung von 7-12 V versorgt. Es sind keine Sensorleitungen erforderlich, da die Spannung im Geber selbst geregelt wird.

Die Berechnung der Lage und Drehzahl erfolgt wie beim klassischen sin/cos-Geber (siehe Kapitel 2.4.1, "sin/cos-Geber (SinCos)"). Daher sind auch sehr kleine Drehzahlen messbar. Die Absolutposition wird in der Regel nur einmalig beim Systemstart gelesen und damit die Lageberechnung initialisiert. Anschließend werden nur noch die inkrementellen Signale ausgewertet.

Resolver

Mit dem Resolver wird die absolute Lage der Motorwelle ermittelt. Prinzipiell ist er als Singleturn-Absolutwertgeber zu bezeichnen. Aufgrund der fehlenden Eigenlagerung wird der Resolver in der Regel als Einbaugeber bei Servomotoren verwendet.

Bild 2.35 Resolverkomponenten (Quelle: LTN)

Der Resolver besteht aus einer Rotorspule und zwei Statorwicklungen, die um 90° zueinander versetzt sind und arbeitet nach dem Prinzip des Drehtransformators. Zusätzlich hat der Resolver im Stator und auf dem

Rotor je eine Hilfswicklung, um die Versorgungsspannung bürstenlos auf den Rotor zu übertragen. Die beiden Rotorwicklungen sind elektrisch verbunden.

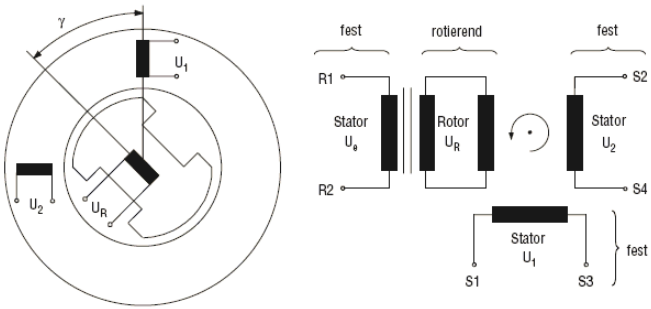


Bild 2.36 Schematischer Aufbau und Ersatzschaltbild des Resolvers

Der Resolver wird mit einer konstanten, sinusförmigen Spannung an U_R versorgt (U_{eff} ca. 7 V, f = 8 kHz). Je nach Lage des Rotors werden in den Statorwicklungen unterschiedlich große Spannungen induziert. Die Spannungen U_1 und U_2 an den beiden Statorwicklungen werden von der Versorgungsspannung transformatorisch moduliert und haben sinusförmige Hüllkurven. Die beiden Hüllkurven sind um 90° elektrisch zueinander versetzt. Hieraus werden die absolute Rotorlage, Drehzahl und Drehrichtung ermittelt.

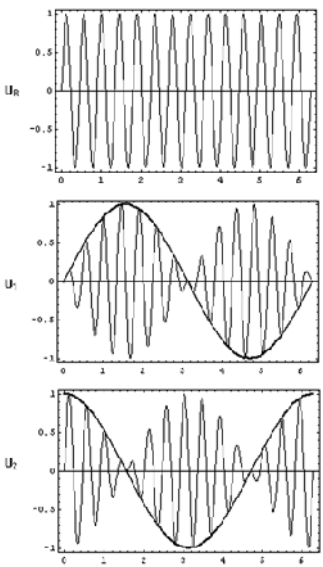


Bild 2.37 Erregerspannung U_R, Ausgangsspannungen U_1 und U_2 des Resolvers

Die Amplitude der Hüllkurve ist abhängig vom Effektivwert und der Frequenz der Versorgungsspannung U_e. Resolver für die c-line DRIVES erfordern ein Übertragungsverhältnis von 0,5 $\pm$ 10 %.

Die Resolver werden mit den c-line DRIVES in ähnlicher Weise wie die sin/cos-Signale des Inkrementalgebers ausgewertet. Hierfür ist zuerst die Ermittlung der Hüllkurve der amplitudenmodulierten Spannungen U1 und U2 erforderlich. Hier werden derzeit zwei Varianten eingesetzt:

- Abtastung der amplitudenmodulierten Gebersignale mit Analog-Digital-Umsetzern synchron zur Erregerfrequenz im Scheitelpunkt. Per Software wird die Phasenverschiebung zwischen Erregung und Ausgangspannung korrigiert.
- Demodulation der amplitudenmodulierten Gebersignale per Hardware und Abtastung der Hüllkurve mit Analog-Digital-Umsetzer. Vorteilhaft ist bei diesem Verfahren, dass die Phasenverschiebung zwischen Erregung und Ausgangsspannungen nicht berücksichtigt werden muss.

Das Übertragungsverhältnis des Resolvers ist erheblich toleranzbehaftet (0,5 $\pm$ 20 %). In beiden o. g. Varianten wird deshalb zur Ausnutzung des Messbereichs der Analog-Digital-Umsetzer, die Amplitude der Erregerspannung geregelt.

Toleranzen des Resolvers bei der Montage elektronischer Schaltkreise erzeugen Verstärkungs-, Phasen- und Offsetfehler auf den Hüllkurven. Die Fehler haben einen gravierenden Einfluss auf die gemessene Drehzahlwelligkeit. Mit dem patentierten Verfahren GPOC (**G**ain-**P**hase-**O**ffset-**C**orrection) werden die Fehler minimiert und somit die Signalqualität verbessert.

Aus den ermittelten und korrigierten Hüllkurven wird mittels der Arcustangens-Funktion die Rotorlage berechnet. Die Berechnung der Drehzahl erfolgt analog zum sin/cos-Geber (siehe Kapitel 2.4.1, "sin/cos-Geber (SinCos)"). Ein Analog-Digital-Umsetzer mit 12 Bit Auflösung ermöglicht in Verbindung mit der 4fach-Auswertung eine Winkelauflösung von 14 Bit, d. h. ein $\Delta\varepsilon = 360°/2^{14} = 0{,}022° = 1$ Winkelminute.

2.4.2 Gebersysteme für die c-line DRIVES

In diesem Kapitel werden die bei LTi verfügbaren Geber den verschiedenen Antriebsreglern der c-line DRIVES und den Motoren zugeordnet.

Zuordnung Geber-Motor

Bei der Kombinatorik Geber-Motor ist die Berücksichtigung verschiedener Kriterien erforderlich:

- Synchronmotoren erfordern beim Systemstart eine absolute Lageinformation. Daher scheiden rein inkrementelle Messsysteme aus. Softwareverfahren zur Ermittlung der Absolutlage (Kommutierungsfindung) bei Einsatz von inkrementellen Gebern werden im folgenden nicht berücksichtigt, da der Einsatzbereich dieser Lösung eingeschränkt ist.
- In Abhängigkeit von der Montageumgebung unterscheidet man zwischen Einbau- und Anbaugebern.
  Erstere werden direkt in den Motor eingebaut (z. B. bei Servomotoren). Anbaugeber erfordern in der Regel eine höhere Schutzart als die Einbaugeber (IP65-IP54 gegenüber IP40-IP20 beim Einbaugeber). Der Resolver ist aufgrund seiner Bauform in der Regel nur als Einbaugeber zu verwenden.

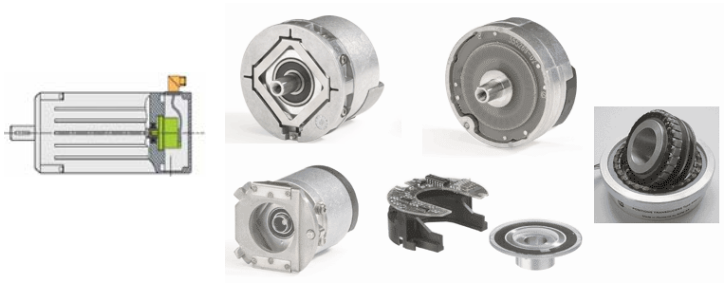


Bild 2.38 Einbau von eigen- und fremdgelagerten Gebern

Bild 2.39 Anbau von fremdgelagerten Gebern

Aus diesen Bedingungen leitet sich die Tabelle 2.21 ab.

	IEC-Asynchronmotor	Asynchron-Servomotor	Synchron-Servomotor
HTL-Inkrementalgeber	Anbau	Einbau/Anbau	-
TTL-Inkrementalgeber	Anbau	Einbau/Anbau	-
sin/cos-Inkrementalgeber	Anbau	Einbau/Anbau	-
SSI-Absolutwertgeber	Anbau	Einbau/Anbau	Einbau/Anbau
SSI-Absolutwertgeber mit sin/cos-Signalen	Anbau	Einbau/Anbau	Einbau/Anbau
Hiperface-Absolutwertgeber	Anbau	Einbau/Anbau	Einbau/Anbau
Resolver	-	Einbau	Einbau

Tabelle 2.21 Zulässige Kombination aus Geber, Geberbauform und Motor

Auswertung von Gebern mit den c-line DRIVES

Mit den Antriebsreglern der c-line DRIVES sind verschiedene Geber auswertbar. Die zulässige Kombinatorik und der Anschluss dieser Geber ist in den entsprechenden Betriebsanleitungen beschrieben.

	CDA3000	CDB2000	CDB3000	CDD3000	CDE3000	CDF3000
HTL-Inkrementalgeber	X[1)]		X	X[3)]		
TTL-Inkrementalgeber			X	X	X	X[3)]
sin/cos-Inkrementalgeber				X	X[2)]	
SSI-Absolutwertgeber			X		X	X
SSI-Absolutwertgeber mit sin/cos-Signalen				X	X[2)]	
Hiperface-Absolutwertgeber				X		
Resolver				X	X	X

1) Auswertung des Nullimpulses nicht möglich
2) Nur mit spezieller Ausführungsvariante des CDE3000 möglich
3) Nur als Leitgebereingang verwendbar

Tabelle 2.22 Zulässige Geber in Abhängigkeit vom Antriebsregler

Genauigkeiten und Auflösung von Gebern

Die Geber besitzen unterschiedliche Genauigkeiten. Die Genauigkeit in Kombination mit der Auflösung im Antriebsregler ist die Basis für die Qualitiät der Lage und Drehzahl bzw. der Rundlaufgüte. Man spricht auch von der Lage- bzw. Drehzahlauflösung in Bit. Eine hohe Auflösung im Antriebsregler ist demnach nur dann erforderlich, wenn die Genauigkeit des Gebers dieses gewährleistet.

Die Genauigkeiten der Geber variieren in Abhängigkeit vom Hersteller, so dass keine allgemeingültigen Aussagen bzgl. eines Typs gemacht werden können. Die in Tabelle 2.23 angegebenen Werte beziehen sich demzufolge auf die von LTi angebotenen bzw. empfohlenen Geber.

	typ. absolute Genauigkeit [1]	typ. Wiederhol-Genauigkeit [2]	Lageauflösung im Antriebsregler für Positionsregelung [3]	Lageauflösung im Antriebsregler für Drehzahlberechnung [3]
HTL-Inkrementalgeber (1024 Signalperioden)	±5'	±1,5'	12 Bit = 5' (max. 16 Bit)	12 Bit = 5'
TTL-Inkrementalgeber (1024 Signalperioden)	±5'	±1,5'	12 Bit = 5' (max. 16 Bit)	12 Bit = 5'
SinCos-Inkrementalgeber (2048 Signalperioden)	±20"	±6"	16 Bit = 20" (max. 16 Bit, 20 Bit CDD3000)	25 Bit = 0,04' (max. 30 Bit bei CDD/E3000)
SSI-Absolutwertgeber (13 Bit/Umdrehung)	±2,5'	±0,5'	13 Bit = 2,5' (max. 16 Bit)	13 Bit = 2,5' (max. 20 Bit bei CDE/B/F3000)
SSI-Absolutwertgeber mit SinCos-Signalen (2048 Signalperioden)	±20"	±6"	16 Bit = 20" (max. 16 Bit, 20 Bit CDD3000)	25 Bit = 0,04' (max. 30 Bit bei CDD/E3000)
Hiperface-Absolutwertgeber (1024 Signalperioden)	±45"	±7"	16 Bit = 20" (max. 20 Bit CDD3000)	24 Bit = 0,08' (max. 30 Bit bei CDD3000)
Resolver	±10'	±1'	14 Bit = 1'	14 Bit = 1'

1) Absolute Genauigkeit: Abweichung zwischen der tatsächlichen und der gemessenen Position.
2) Wiederholgenauigkeit: Abweichung bei einem wiederholt angefahrenen Punkt bei gleichen Betriebsbedingungen.
3) Maximalwerte in ( ): Beachten Sie bitte die maximale Auflösung des Antriebsreglers bei Auswahl von Gebern mit einer größeren Auflösung als hier angegeben.

Tabelle 2.23 Typische Genauigkeiten von Gebern

2.4.3 Projektierung

Bei der Auslegung bzw. der Projektierung der Maschine ist auch der Geber zu betrachten. Dieses Kapitel gibt im Besonderen Empfehlungen und Hinweise zur Geberauswahl, besonders bei einer Projektierung mit Fremdgebern.

Positioniergenauigkeit

Die Positioniergenauigkeit ist einerseits abhängig von den Eigenschaften des Gebers und andererseits von dem verwendeten Antriebsregler.

Die Genauigkeit von Gebern ist im Wesentlichen bestimmt durch:

- Die Richtungsabweichungen der Radialgitterteilung.
- Die Exzentrizität der Teilscheibe bei Encodern zur Lagerung.
- Die Exzentrizität des Rotors zum Stator bei fremdgelagerten Resolvern.
- Die Rundlauf-Abweichung der Lagerung.
- Den Fehler durch die Ankopplung mit einer Wellen-Kupplung – bei Drehgebern mit Statorkupplung liegt dieser Fehler innerhalb der Systemgenauigkeit.
- Die Interpolationsabweichungen bei der Weiterverarbeitung der Messsignale in der eingebauten Interpolations- und Digitalisierungs-Elektronik.

Drehzahlbereich-Maximale Signalfrequenz

In Abhängigkeit vom gewünschten Gleichlaufverhalten ist die Positionsgenauigkeit des Gebers bzw. dessen Auflösung im Antriebsregler festzulegen.

Dabei ist die maximal zulässige Signalfrequenz der Gebersignale bzw. die maximale Signaleingangsfrequenz des Antriebsreglers
(typ. f_{max} = 500 kHz) zu beachten.

Bei Inkrementalgebern ergibt sich somit die maximal zulässige Strichzahl Z in Abhängigkeit von der Maximaldrehzahl n_{max} des Motors und der maximalen Eingangsfrequenz f_{max} des Antriebsreglers:

$$Z = \frac{f_{max}}{n_{max}} \times 60$$

Die maximale mechanische Drehzahl des Gebers muss immer kleiner als die Systemdrehzahl sein.

Art der Montage

Die Art der Montage des Gebers am Motor ist zu beachten. Dementsprechend ist die geeignete Gehäusevariante zu wählen.

Die Montage ist in der Regel in der Betriebsanleitung des Gebers beschrieben.

Robustheit

Die Robustheit wird bestimmt durch das Verhalten und die Lebensdauer der Geber in Abhängigkeit von Erschütterungen und der Umgebungstemperatur. Bei Encodern handelt es sich häufig um Systeme, die auf einer optischen Abtastung von Codescheiben beruhen. Bei starken Erschütterungen wird unter Umständen die Auswertung sowie die Mechanik der Geber beeinträchtigt oder sogar zerstört. Resolver hingegen sind induktive Messsysteme und daher wesentlich unempfindlicher gegenüber Erschütterungen. Hinzu kommt, dass sie aufgrund ihres Einbaus im Motor gegenüber äußeren, mechanischen Einflüssen geschützt sind.

Temperaturbereich und Schutzart

Bei Servomotoren ohne Fremdbelüftung ist der Drehgeber in das Motorgehäuse eingebaut. An die Schutzart des Drehgebers werden daher keine hohen Anforderungen gestellt. Allerdings treten innerhalb des Motorgehäuses hohe Arbeitstemperaturen von 100 °C und mehr auf. Resolver erfüllen an dieser Stelle die höchsten Anforderungen, bei Encodern ist hier auf einen zulässigen Temperaturbereich von 115 °C bis 120 °C zu achten.

Drehgeber für Motoren mit Fremdbelüftung (z. B. IEC-Asynchronmotoren) werden entweder an das Motorgehäuse an- oder in das Motorgehäuse eingebaut. So sind diese Drehgeber häufig dem verunreinigten Kühlluftstrom des Motors ausgesetzt und müssen daher eine hohe Schutzart von IP64 oder mehr aufweisen. Die zulässige Arbeitstemperatur erreicht selten mehr als 100 °C. Für diesen Temperaturbereich sind verschiedene Gebertypen vorhanden.

Kompatibilität Geber-Antriebsregler

Folgende Randbedingungen bzgl. der Kompatibilität zur Geberschnittstelle des Antriebsreglers müssen bei der Auswahl berücksichtigt werden:

- Spannungsversorgung/Strombelastbarkeit
- Maximale Signal-Eingangsfrequenz des Antriebsreglers
- Taktfrequenz der seriellen Absolut-Schnittstelle (SSI, Hiperface)
- Kleinste darstellbare Drehzahl bei TTL/HTL-Inkrementalgebern und bei SSI-Absolutwertgebern ohne sin/cos-Signale
- Maximal zulässige Leitungslänge

Die Auswertung separater Störungssignale oder Funktionen zum Zurücksetzen der Lage im Geber sind mit den c-line DRIVES nicht möglich.

EMV-Verhalten

In einer sehr stark EMV-gestörten Umgebung sollten immer Geber mit einer differenziellen Datenübertragung (z. B. über die RS422-Schnittstelle) eingesetzt werden. HTL-Geber-Signale, bei denen kein differenzieller Leitungsanschluss an den Antriebsreglern der c-line-DRIVES möglich ist, könnten hier trotz des größeren Signal-Rausch-Abstandes gestört werden.

Desweiteren haben Erfahrungen gezeigt, dass Geber mit magnetoresistiven Bauelementen gestört werden können, wenn diese direkt zusammen mit einer Haltebremse am Motor angebaut werden, bzw. eine magnetische Kopplung zwischen Motor und Geber besteht.

Verkabelung

Für die meisten Geber werden konfektionierte Geberkabel in verschiedenen Längen angeboten. Die Verwendung wird dringend empfohlen, da diese auf korrekte Funktionalität geprüft sind.

Zum Anschluss des Gebers an den Antriebsregler sind die jeweiligen Betriebsanleitungen der Antriebsregler und ggf. die des Gebers zu beachten.

Bei Anschluss von Fremdgebern sind stets geschirmte Kabel zu verwenden. Die differenziellen Signale (z. B. A+ und A-) sind über paarig verdrillte Leitungen zu führen. Weiterhin sind die Verkabelungsvorschriften des Geberherstellers zu beachten.

2.4.4 Schnittstellen

RS422-Schnittstelle

Die Schnittstelle RS422 ist standardisiert und arbeitet symmetrisch. Die Schnittstelle RS422 ist geeignet für Übertragungsraten bis zu 10 MBit/ sec. Bei einer Baudrate von 38.400 Baud ist eine Übertragung über 1 km Kabellänge möglich.

Hardware

Bei dem Standard RS422 wird mit differenziellen Spannungen gearbeitet. Der Vorteil dieser Technik ist die Tatsache, dass auf dem Übertragungsweg Einstrahlstörungen auf beide Signalleitungen gleichzeitig und in gleicher Weise einwirken. Da beim Empfänger nur die Differenzspannungen der beiden Signalleitungen ausgewertet werden, spielen die Einstrahlstörungen keine Rolle.

Auf diese Weise lassen sich wesentlich längere Leitungen einrichten und außerdem wird wegen der Einschränkungen der Störeffekte auch die Übertragungsrate wesentlich höher.

Das Prinzip der physikalischen Verbindung zeigt Bild 2.40.

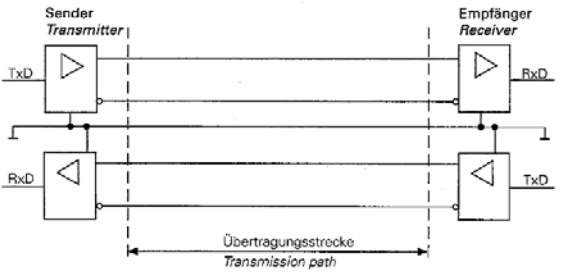


Bild 2.40 Hardware der RS422-Schnittstelle (Quelle: Heidenhain)

Signalpegel

Bei der Schnittstelle RS422 werden die Signale als Differenzspannung ausgegeben und wiedereingelesen.

Dabei entspricht eine positive Differenzspannung einer logischen "0" (OFF) und eine negative Differenzspannung einer logischen "1" (ON).

Es werden Differenzspannungen zwischen U_{dmin} = 2 V und U_{dmax} = 5 V ausgegeben und die Steuerung erkennt die Differenzspannungen zwischen U_{dmin} = 0,2 V und U_{dmax} = 6 V als logisch definierte Pegel.

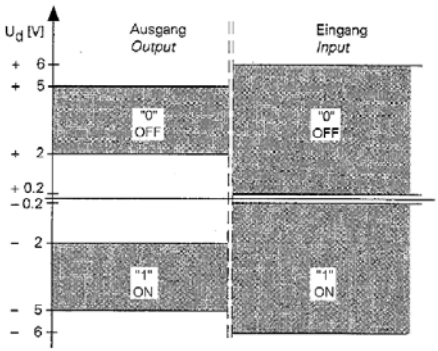


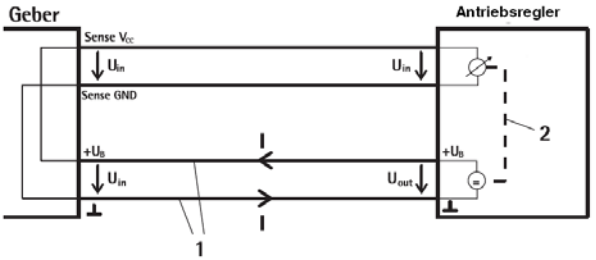
Bild 2.41 Signalpegel der RS422-Schnittstelle (Quelle: Heidenhain)

	min.	max.	Typ
Eingangsfrequenz c-line DRIVES	0 Hz	500 kHz	
Eingangsspannung • High-Pegel • Low-Pegel • differenziell	 0,2 V -	 -0,2 V ±6 V	
Wellenabschlusswiderstand	-	-	120 Ω
Spannungsversorgung für Geber (teilweise Regelung über Sensorleitungen möglich)	4,75 V	5,25 V	5 V/150 mA

Tabelle 2.24 Elektrische Spezifikation der RS422-Schnittstelle am Antriebsregler der c-line DRIVES

Sensorleitungen

Verschiedene Geber erfordern eine Spannungsversorgung von 5 $V_{DC} \pm 5$ %. Zur Einhaltung dieser Toleranz sind zusätzliche Sensorleitungen erforderlich.



[1] Spannungsabfall durch lange Leitungen
[2] Automatische Nachregelung der Ausgangsspannung

Bild 2.42 Anschluss von Sensorleitungen (Quelle: Hengstler)

Die Sensorleitungen ermöglichen die Messung der tatsächlichen Geberspannung (ohne die Verfälschung durch Spannungsabfall infolge des Versorgungsstroms und des Kabelwiderstandes). Durch den Spannungsabfall auf den Leitungen der Versorgungsspannung ist die Geber-Eingangsspannung U_{in} kleiner als die vom Antriebsregler ausgegebene Spannung U_{out}.

Am Geber wird nun die anliegende Eingangsspannung U_{in} auf die Leitungen Sense V_{CC} und Sense GND ausgegeben und als Information zum Antriebsregler (hochohmiger Eingang) zurückgeführt.

Bei Antriebsreglern mit Sense-Eingang kann nun die Ausgangsspannung U_{out} automatisch nachgeregelt werden.

2.5 Auswahl von Getrieben

Die technischen und wirtschaftlichen optimalen Drehzahlen der üblichen DS-Motoren sind für die meisten Anwendungen zu hoch. Die zwangsläufig benötigten Untersetzungsgetriebe werden mit dem Motor zu einer DS-Getriebemotor- (oder Servogetriebemotor-) Einheit vereinigt.

Der besondere Vorteil des Getriebes gegenüber einer elektronischen Drehzahlreduzierung ist, dass das Getriebe nicht nur die Drehzahl reduziert, sondern auch das Drehmoment steigert.

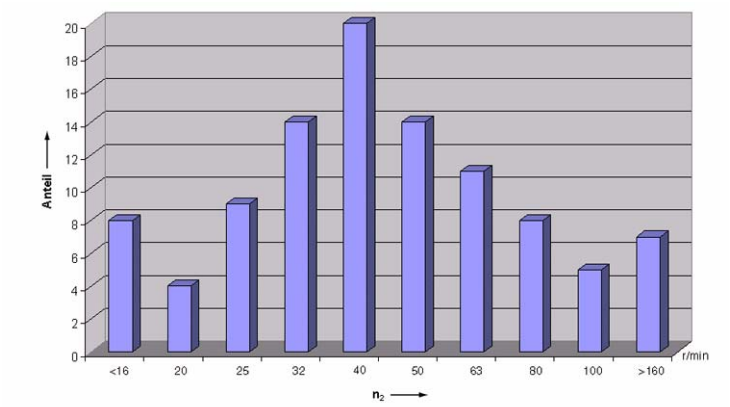


Bild 2.43 Typische Abtriebsdrehzahlen (n_2) in Industrieanlagen

In den folgenden Kapiteln werden in tabellarischer Form die wichtigsten Daten von Getrieben zur Verfügung gestellt und Begriffsdefinition betrieben. Die genauen Daten bzgl. Bauform, Kraftflussrichtung, Drehmoment, Übersetzung, Spiel usw. entnehmen Sie bitte den Katalogen des jeweiligen Getriebemotors.

Was muss bei der Auslegung der Getriebe beachtet werden?

- Gegebenheiten des Einbauorts (Raum, Temperatur, Lage)
- max. Antriebszahl
- max. Abtriebsmoment
- Betriebsfaktor (die Standardgetriebe sind für gleichförmige Belastung ausgelegt)
- Querkräfte, Axialkräfte
- Verdrehspiel
- Drehsteifigkeit

2.5.1 Auswahl von Standardgetrieben

Kenngrößen von Standardgetrieben

Eigenschaften	Stirnradgetriebe	Stirnradflachgetriebe	Schneckengetriebe	Kegelradgetriebe
Kraftfluss	geradlinig	geradlinig	rechtwinklig	rechtwinklig
max. Drehmoment [Nm]	ca. 15.000	ca. 6.000	ca. 4.000	ca. 40.000
2. Wellenende	nicht mögl.	möglich	möglich	möglich
Abtriebshohlwelle	nicht mögl.	möglich	möglich	möglich
Untersetzungsbereich (ohne Doppelgetriebe)	ca. 3,5 bis 230	ca. 6 bis 270	ca. 6 bis 290	ca. 6 bis 165
Wirkungsgrad	0,93 bis 0,98	0,93 bis 0,98	0,3 bis 0,85	0,9 bis 0,96
Verdrehspiel in[1)] Winkelminuten	ca. 30 bis 40	ca. 30 bis 40	ca. 30 bis 40	ca. 25 bis 40
Kosten Euro/Nm	niedrig	niedrig	mittel	hoch
[1)] Umrechnung in Grad 15'/60 = 0,25°				

Tabelle 2.25 Kenngrößen von Standardgetrieben

- Bei allen c-line Antriebsreglern kann als Übersetzungsverhältnis die Zahnradpaarung (Zähler/Nenner) vorgegeben werden, wodurch das Untersetzungsverhältnis mathematisch genau verarbeitet wird.
- Die Berechnung des rücktreibenden Wirkungsgrades ($n_{rück}$) erfolgt über die Formel:

$$\eta_{rück} = 2 - \frac{1}{\eta}$$

Daraus erkennt man, dass die Selbsthemmung bei einem Wirkungsgrad von $\leq$ 50 % (0,5) eintritt.

Benötigte Angaben zur Auswahl von Standardgetrieben

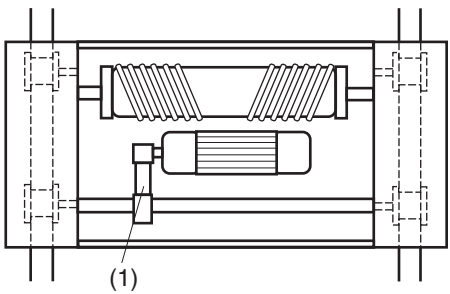
Für die Auswahl von Standardgetrieben werden folgende Angaben benötigt:

- Abtriebsdrehmoment
- Abtriebsdrehzahl
- Querkräfte/Axialkräfte
- Raumbedarf/Bauform
- Umgebungsbedingung/Umgebungstemperatur
- Lastzyklus/Lastspiel
- Angaben zur Mechanik (Spiel, Lose, Massenträgheitsmoment u. a.) die anzutreiben ist.

Nachfolgend geben wir Ihnen einen Überblick über die wichtigsten Faktoren zur Auswahl der Standardgetriebe.

Vorgelege

Durch eine Vorgelegestufe zwischen Getriebemotor und Arbeitswelle ergeben sich andere Getriebeabtriebsdrehzahlen und Getriebeabtriebsmomente.



(1) Vorgelege mit Kettenrädern

Bild 2.44 Vorgelege

Praxistipp

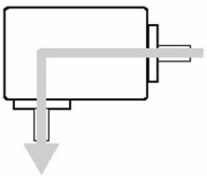
➢ In der Praxis wird das Vorgelege meist über Zahnriemen realisiert
$i_{max} \approx 4$, $i_{typisch} = 2$ bis 3

➢ $i_{ges} = i_V \cdot i_G$
i_V Untersetzung Vorgelege
i_G Untersetzung Getriebe

Kraftfluss im Getriebe

Koaxialgetriebe mit einem geradlinigen Kraftfluss

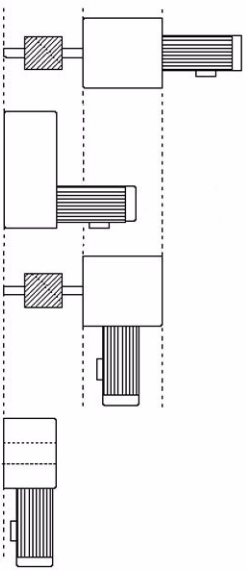
Stirnradgetriebe



Winkelgetriebe mit einem rechtwinkligen Kraftfluss

Schneckengetriebe
Kegelradgetriebe

Raumbedarf von Getrieben



Stirnradgetriebemotor

Stirnradflachgetriebemotor

Schneckengetriebemotor
Kegelradflachgetriebemotor

Schneckengetriebemotor mit Hohlwelle
(Alle Flachgetriebemotoren kann man mit Hohlwelle bekommen!)

Die technischen Daten des Stirnrad-, Stirnradflach- und des Kegelradgetriebes sind sehr ähnlich. Die Wahl des Getriebes hängt oft nur von den Einbauverhältnissen ab!

Bestimmung des Antriebsdrehmomentes bei Netzbetrieb (Festdrehzahl)

Standardgetriebe sind für gleichförmige Belastung und geringe Einschaltdauer ausgelegt. Es ist notwendig, bei Abweichungen von diesen Bedingungen, das errechnete theoretische Abtriebsmoment bzw. die Abtriebsleistung mit einem, dem Anwendungsfall typischen, Betriebsfaktor zu multiplizieren.

$$M_{max} = \frac{9550 \cdot P}{n} \cdot f_{Bges}^{1)} = [Nm]$$

1) Gesamtbetriebsfaktor $f_{Bges} = f_B$ (Diagramm Getriebe) x f_{B1} (Diagramm Umgebungstemperatur) x f_{B2} (Diagramm ED%)

- Der Gesamtbetriebsfaktor stellt das Verhältnis der Getriebeleistung zur Motorleistung dar. Die Bestimmung des Betriebsfaktors ist herstellerabhängig.
- Bei Schneckengetrieben muss zusätzlich zum Betriebsfaktor noch der Einfluss der Umgebungstemperatur und die Einschaltdauer berücksichtigt werden.

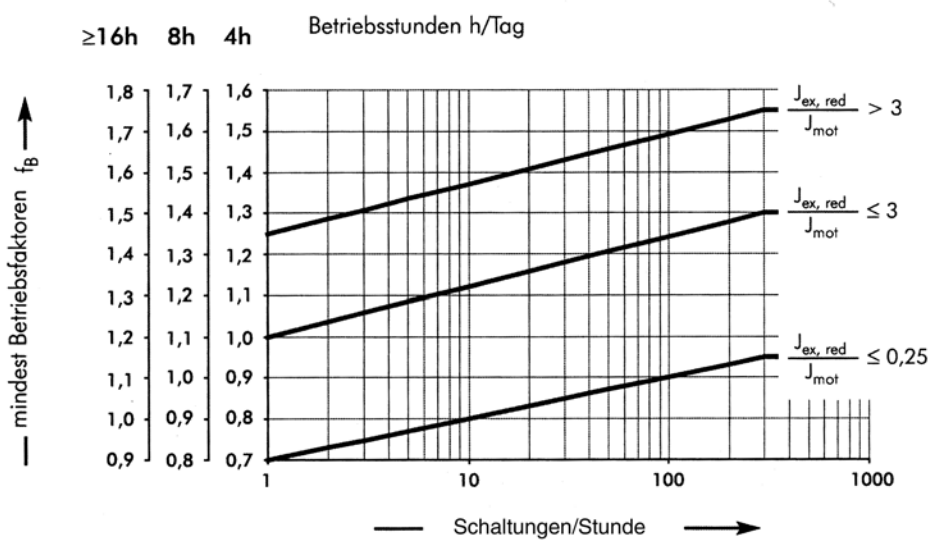


Bild 2.45 Typisches Diagramm für Betriebsfaktoren bei Netzbetrieb (ohne Frequenzumrichter)

Stoß-grad	Belastungsart	Beispiel	Schnecken-getriebe [f_{BGes}]	Stirnrad-getriebe [f_{BGes}]	tägliche Betriebs-zeit in h
I (A)	Gleichmäßiger Betrieb, kleine zu beschleunigende Massen, geringe Schalthäufigkeit	Lüfter	0,80	0,80	3
		Kreiselpumpe	1,00	1,00	10
		Schrägaufzug	1,20	1,20	24
II (B)	Ungleichmäßiger Betrieb, mittlere zu beschleunigende Masse, mäßige Stöße, mittlere Schalthäufigkeit	Knetwerk	0,90	0,90	3
		Schiebetore	1,10	1,10	10
		Zahnradpumpen	1,30	1,30	24
III (C)	Ungleichmäßiger Betrieb, geringe zu beschleunigende Masse, heftige Stöße, hohe Schalthäufigkeit	Stanzen	1,10	1,20	3
		Mischer	1,30	1,40	10
		Taktantriebe	1,50	1,60	24

Tabelle 2.26 Typischer Gesamtgetriebefaktor aus der Praxis

Bestimmung des Abtriebsmomentes bei Reglerbetrieb (variable Drehzahl)

Bei Betrieb des Getriebemotors an einem Antriebsregler ist zunächst der Drehmomentverlauf der Anwendung aufzuzeichnen (gemäß Kapitel 2.2, „Motorauswahl“).

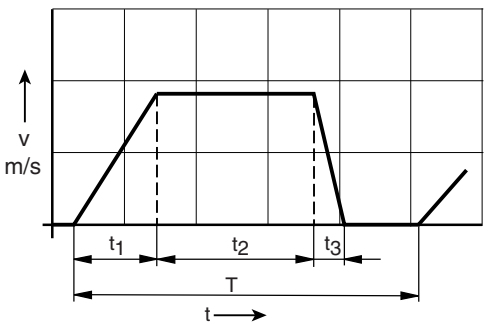


Bild 2.46 v/t-Diagramm

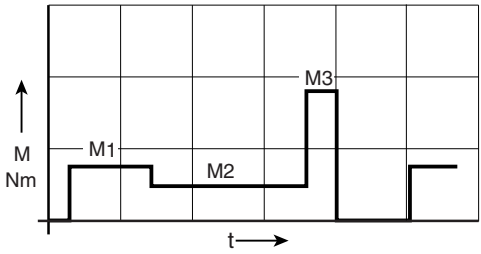


Bild 2.47 M/t-Diagramm

Das Getriebe ist entsprechend dem in der Anwendung maximal auftretenden Drehmoment auszuwählen. Würde das Nennmoment des Getriebes in der Anwendung überschritten, würde das Getriebe im verformbaren Bereich betrieben. Dies würde zu geringerer Lebensdauer des Getriebes führen.

$M_{N\ Getriebe} \geq M_{max}$ (bezogen auf Bild 2.47) $\geq M_3$

Bei Schneckengetrieben muss zusätzlich der Einfluss der Umgebungstemperatur und die Einschaltdauer berücksichtigt werden.

Axial- und Radialkräfte

Die zulässigen Axial- und Querkräfte entnehmen Sie bitte den Unterlagen der Getriebehersteller.

Zusätzliche Radialkraft

Werden zur Drehmomentübertragung Zahnräder, Kettenräder oder Riemenscheiben eingesetzt, wird die Welle, außer durch das Drehmoment, zusätzlich durch die Radialkraft F_Q belastet:

$$F_Q = (M / r) \times f_z$$

M = Drehmoment
r = Radius
f_z = Zuschlagfaktor

Übertragungselemente	Bemerkungen	Zuschlagfaktor f_z
Zahnräder	≥ 17 Zähne ≤ 17 Zähne	1 1,15
Kettenräder	> 20 Zähne < 20 Zähne < 13 Zähne	1 1,25 1,4
Schmalkeilriemenscheibe	abhängig von der Vorspannung	1,5 bis 2
Flachriemen mit Spannrolle	abhängig von der Vorspannung	2 bis 2,5
Flachriemen ohne Spannrolle	abhängig von der Vorspannung	2,3 bis 3
Antrieb über Reibrad	übliche praktische Verhältnisse	3 bis 4

Weitere Informationen zu Wirkungsgrad und Reibwerten von mechanischen Elementen finden Sie im Buch: „Das 1 x 1 der Antriebstechnik“.

2.5.2 Auswahl von Planetengetrieben

Kenngrößen von Planetengetrieben

Eigenschaften	Standardgetriebe	Planetengetriebe	Kegelradgetriebe
Getriebestufen	1/2/3	1/2	1/2
Wirkungsgrad (ohne Schneckengetriebe)	sehr gut	sehr gut	sehr gut
Verdrehspiel in Winkelminuten	ca. 25 bis 40[1)]	1 bis 10[1)]	6 - 15[1)]
Stoßmomente	schlecht	sehr gut	schlecht
Drehsteifigkeit	mittel	sehr gut	mittel
Dynamik	mittel	sehr gut	mittel
Leistungsdichte	schlecht	sehr gut	schlecht
Übersetzung mathem. genau? (Typenschild)	nein	ja	ja
Kosten Euro/Nm	niedrig	relativ hoch	mittel
1) Umrechnung in Grad 15'/60 = 0,25°			

Tabelle 2.27 Kenngrößen von Planetengetrieben

Benötigte Angaben zur Auswahl von Planetengetrieben

Für die Auswahl von Planetengetrieben werden folgende Angaben benötigt:

- Abtriebsdrehmoment
- Abtriebsdrehzahl
- Querkräfte/Axialkräfte
- Verdrehspiel
- Bauform/Kraftfluss
- Umgebungsbedingung/Umgebungstemperatur
- Lastzyklus/Lastspiel

Nachfolgend wird auf die neuen Begriffe: Stoßmomente, Verdrehspiel und Drehsteifigkeit eingegangen.

Stoßmomente

Bei Planetengetrieben ist kein Betriebsfaktor zu beachten. Stoßmomentbelastungen sind bis zum maximalen Drehmoment des ausgewählten Planetengetriebes zulässig, ohne Reduzierung des Nenn- oder Maximaldrehmoments.

Planetengetriebe werden für dynamische Anwendungen eingesetzt, deshalb ist es üblich, dass diese Getriebe nicht im „verformbaren Bereich“ betrieben werden. Es ist kein Betriebsfaktor zu beachten.

Herstellerabhängig kann es vorkommen, dass der Betrieb im „verformbaren Bereich“ zulässig ist. Bei Verwendung eines solchen Planetengetriebes ist der Betriebsfaktor, auch Anwendungsfaktor genannt, unbedingt zu beachten. Bei Nichtbeachtung verringert sich die Lebensdauer deutlich.

Verdrehspiel

Als Verdrehspiel eines Getriebes bezeichnet man die Winkeltoleranz zwischen Abtrieb und Antrieb, bezogen auf die Abtriebswelle bei blockiertem Antrieb und einem Antriebsdrehmoment von ca. 2 bis 5 % vom Nennmoment des Getriebes.

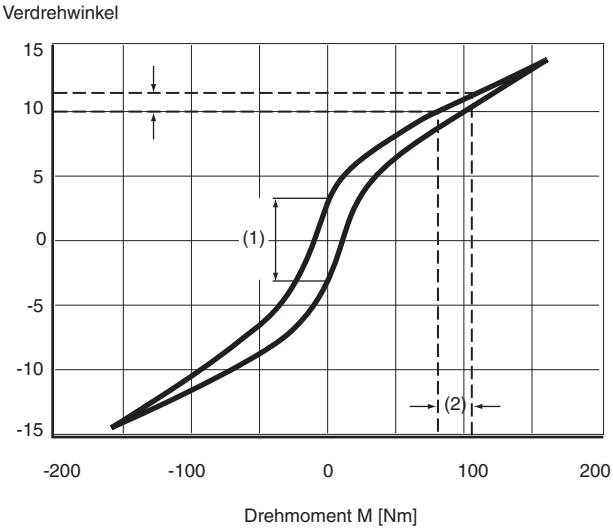
- ➢ Angaben sind immer Absolutwerte und in Winkelminuten.
- ➢ Angabe wird ermittelt bei festgesetzter Antriebswelle.
- ➢ Angabe bezieht sich auf den Abtrieb und wird durch eine Wechselbelastung von ca. 2 bis 5 % M_{max} ermittelt.

Drehsteifigkeit

Unter Drehsteifigkeit versteht man das Torsionsverhalten eines Getriebes relativ zur Belastung.

- ➢ Angabe immer in Nm/Winkelminute.
- ➢ Angabe wird ermittelt bei festgesetzter Antriebswelle.
- ➢ Angabe bezieht sich auf den Abtrieb und wird durch eine Wechselbelastung von ca. 0 bis 100 % M_{max} ermittelt.

Es können auch Antriebslösungen mit spielreduzierten Kegel- und Stirnradgetrieben realisiert werden.



(1) Verdrehspiel 6'
(2) Drehsteifikeit 50 Nm/Winkelminute

Bild 2.48 Drehsteifigkeit

2.6 Auswahl der Motorbremsen

Bei Motorbremsen wird in der Praxis zwischen Federdruckbremsen (Arbeitsbremse) und Permanentmagnetbremse (Haltebremse) unterschieden. DS-Normmotoren werden immer mit Federdruckbremsen ausgestattet. Synchron- und Asynchron-Servomotoren werden meist mit Permanentmagnetbremsen ausgestattet, in Sonderfällen können auch Federdruckbremsen eingesetzt werden.

	Federdruckbremse / Arbeitsbremse	**Permanentmagnetbremse / Haltebremse**
Typischer Einsatzbereich	IEC-Normmotoren	Asynchron- und Synchron-Servomotoren
Arbeitsprinzip	Ruhestrombremse (Federkraft)	Ruhestrombremse (Permanentmagnete)
Preis-/Leistungsverhältnis (Euro/Nm)	gut	schlecht
Beschaffenheit des Bremsbelags	Bremsbelag auf Metall	Metall auf Metall
zulässige Lebensdauerschaltarbeit (Anzahl der Nothalte)	sehr hoch	sehr niedrig
Bremsenstrom zur Belüftung	mittel	niedrig
Motorhaltebremse mit doppeltem Nennmoment als Bremsmoment z. B. für Hubantriebe möglich	ja	ja (bei LSH)/ herstellerabhängig
Trägheitsmoment der Bremsen	Abhängig vom Bremsenkonzept	

Tabelle 2.28 Kenngrößen von Motorbremsen

Ansprechzeiten von Federdruckbremsen

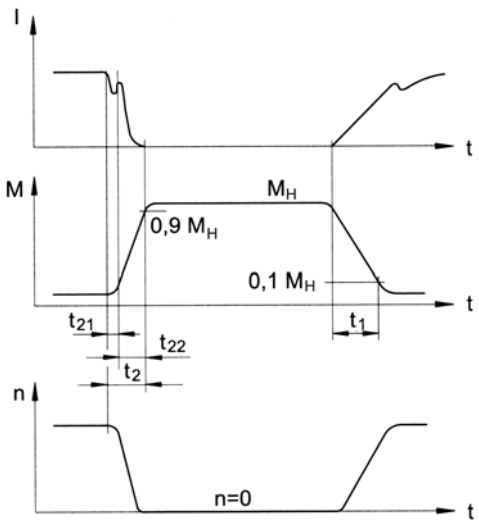
Serienmäßig werden Bremsmotoren mit angeschlossenem Gleichrichter für wechselstromseitiges und gleichstromseitiges Schalten geliefert.

Wechselstromseitiges Schalten:

Erfolgt vor dem Gleichrichter auf der Wechselstromseite. Hier baut sich das Magnetfeld langsam ab, die Bremse fällt sanft mit Verzögerung (Ausschaltzeit $t_2 \approx$) ein.

Gleichstromseitiges Schalten:

Erfolgt zwischen Gleichrichter und Spule, dabei wird ein extrem geringer Nachlauf erreicht. Für alle Antriebe, die ein exaktes Bremsen erfordern, insbesondere auch für Hubwerke, ist gleichstromseitiges Schalten der Bremse unbedingt erforderlich (Ausschaltzeit $t_2 =$).



I	Spulenstrom	t_1	Einschaltzeit
M	Bremsmoment	t_2	Ausschaltzeit
M_H	Haltemoment der Federdruckbremse	t_{21}	Verzugzeit
n	Drehzahl	t_{22}	Anstiegzeit
t	Zeit	$t_{2\sim}$	Zeit vom Ausschalten des Stromes bis zum Erreichen des Haltemomentes bei wechselstromseitigem Schalten
		$t_{2=}$	Zeit vom Ausschalten des Stromes bis zum Erreichen des Haltemomentes bei gleichstromseitigem Schalten

Federdruckbremsen: Mechanische Kenngrößen																
Bremsengröße		**2**	**5**	**10**	**20**	**40**	**60**	**100**	**150**	**250**	**250**	**400**	**400**	**400**	**1000**	**1000**
M_B	[Nm]	2	5	10	20	40	60	100	150	250	250	400	400	400	1000	1000
J_B	[kgm²x10³]	0,015	0,015	0,045	0,172	0,45	0,86	1,22	2,85	6,65	13,3	19,5	39	39	181	181
t_1	[ms]	35	35	45	60	80	120	160	200	220	220	300	300	300	750	750
$t_{2\sim}$	[ms]	70	70	95	140	175	210	280	350	500	500	800	800	800	3500	3500
$t_{2=}$	[ms]	30	30	45	60	75	90	120	150	180	180	200	200	200	1000	1000
Anbaubare		63	71	80	90	100	112	132	160	180	200	250	250	250	315	315
Motorbaugröße		71	80	90	100	112	132	160	180	200	225	280	280	280	-	-

Tabelle 2.29 Mechanische Kenngrößen

Technische Daten der permanenterregten Haltebremsen der LS-Motoren

		Anbaubare Motorbaugrößen					
		LST-037	**LST-050**	**LST-074**	**LST-097**	**LST-127**	**LST-158**
J_B	[kg/cm²]	0,015	0,08	0,2	0,6	2,0	6,2
M_H	[Nm]	0,4	2,0	4,5	9,0	18	36
$t_{2=}$	[ms]	10	25	35	40	50	90
t_1	[ms]	6	6	7	7	10	22

Tabelle 2.30 Mechanische Kenngrößen

$t_{2=}$ Zeit vom Ausschalten des Stromes bis zum Erreichen des Haltemomentes

t_1 Zeit vom Einschalten des Stromes bis zum Lösen der Haltebremse

3 Auswahl der Antriebsregler

3.1 c-line Antriebsregler 3-3
3.1.1 Abnahmen/Umweltbedingungen 3-5
3.1.2 Modulares Kühlkörperkonzept 3-11
3.2 Maßnahmen zu Ihrer Sicherheit 3-13
3.2.1 Bestimmungsgemäße Verwendung 3-14
3.2.2 Netzbedingung 3-16
3.2.3 Betrieb am IT-Netz 3-20
3.2.4 Belastung des Versorgungsnetzes 3-23
3.2.5 Allgemeines zu den Leistungsanschlüssen 3-24
3.2.6 cUL-Abnahme 3-27
3.2.7 Betrieb am FI-Schutzschalter 3-31
3.2.8 Ableitströme 3-32
3.2.9 Schalten im Netzeingang 3-34
3.2.10 Hochspannungstest/Isolationsprüfung 3-34
3.2.11 Formieren der Zwischenkreiskondensatoren 3-35
3.2.12 Drehsinn und Anschlussbezeichnung 3-38
3.2.13 Schalten im Antriebsreglerausgang 3-39
3.2.14 Kurz- und Erdschlussfestigkeit 3-41
3.2.15 Motorkabellänge, Strom- und Spannungsverluste 3-42
3.2.16 Spannungsbelastung der Motorwicklung 3-45
3.2.17 Motorschutzmöglichkeiten 3-46
3.2.18 Lagerbeanspruchung bei Antriebsreglerbetrieb ..3-47
3.2.19 Berechnung der effektiven Antriebsreglerauslastung 3-48
3.2.20 Messen am Antriebsregler 3-50
3.2.21 DC-Verbundbetrieb (ZK-Kopplung) 3-52

3.2.22 Berechnung der Dauerbremsleistung von Antriebsreglern mit internem Bremswiderstand . 3-53

3.3 c-line Feldbusse 3-55

3.3.1 Übersicht zu den Feldbussen 3-55
3.3.2 CAN-Grundlagen 3-56
3.3.3 CANopen-Profile 3-69
3.3.4 PROFIBUS-DP Grundlagen 3-84
3.3.5 Inbetriebnahme Antriebsregler an PRROFIBUS/S7 3-92

3.4 c-line Antriebsreglersystem CDA3000 3-98

3.4.1 Strombelastbarkeit der Antriebsregler CDA3000 3-98
3.4.2 Projektieren von Drehstrommotoren 3-101
3.4.3 Leistungsfähigkeit der Motorregelverfahren des CDA3000 3-104
3.4.4 Standard-Antriebsreglerbetrieb 3-109
3.4.5 70 Hz-Kennlinie mit 25 % Feldschwächung 3-111
3.4.6 87 Hz-Kennlinie/Erweiterter Stellbereich 3-115
3.4.7 Mehrmotorenantrieb an einem Antriebsregler .. 3-118
3.4.8 Drehgeberauswahl für FOR-Betrieb mit CDA3000 3-121
3.4.9 Programmierbeispiele für Anwendungen mit CDA3000-PLC 3-127
3.4.10 Geringe Motorverluste durch CDA3000 mit Hochfrequenz-PWM 3-144

3.5 c-line Positionierregler CDE/CDB3000 3-146

3.5.1 Strombelastbarkeit der Positionierregler CDE/ CDB3000 3-146

3.6 c-line Servo- und Direktantriebsregler CDD3000 3-150

3.6.1 Strombelastbarkeit der Servo- und Direktantriebsregler 3-150

3.1 c-line Antriebsregler

Das c-line Antriebssystem besteht aus drei Reglerbaureihen. Diese sind:

- Positionierreglerbaureihe CDE/CDB3000 für
  - Asynchron-Normmotoren bis 90 kW
  - Synchron-Servomotoren bis 245 Nm
- Antriebsreglerbaureihe CDA3000 für
  - Asynchron-Normmotoren bis 132 kW
  - Sondermotoren wie Hochfrequenz- oder Reluktanzmotoren
- Servo- und Direktantriebsreglerbaureihen CDD3000 für
  - Asynchron-Servomotoren bis 425 Nm
  - Synchron-Servomotoren bis 245 Nm
  - Hohlwellenmotoren bis 75 Nm
  - Linearmotoren bis 20.000 N

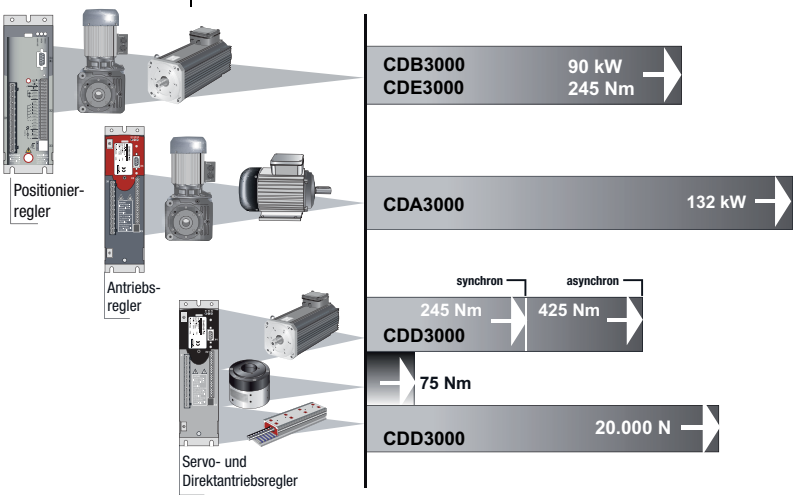
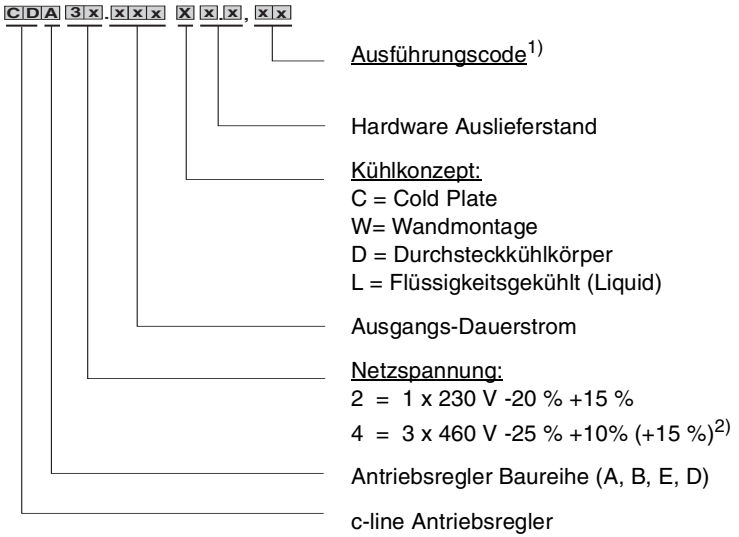


Bild 3.1 c-line DRIVES Antriebsregler

Die nachfolgenden Projektierungshinweise gelten nicht für den Servoregler CDF3000 (24/48 V DC) und CDS4000.

Typenschlüssel der Antriebsregler



1) Der Ausführungscode ist mit Komma getrennt. Es können max. 5 Ausführungen angehängt werden.
2) Bei CDE/B3000 der Baugröße 6 und 7.

3.1.1 Abnahmen/ Umweltbedingungen

Für alle Antriebsreglerbaureihen gelten die gleichen Abnahmebedingungen. **Nachfolgend wird am Beispiel der Antriebsreglerbaureihe CDE/ CDB3000 aufgezeigt, welche Abnahmen durchgeführt werden.** Die genauen Daten zur Abnahme entnehmen Sie bitte der aktuellen Benutzerdokumentation Ihres Antriebsreglers.

CE-Kennzeichnung

Die Antriebsregler erfüllen die Anforderungen der Niederspannungsrichtlinie 73/23 EWG. Die Antriebsregler CDA3000 sind in diesem Sinne CE-gekennzeichnet.

cUL-Approbation

Die Antriebsregler erhalten die cUL-Approbation. Die cUL-Approbation ist gleichberechtigt mit der Approbation nach UL und CSA. Die genauen Daten zur Abnahme entnehmen Sie bitte der aktuellen Benutzerdokumentation und/oder Kapitel 3.2.6.

EMV-Abnahmen

Alle Antriebsregler CDE/CDB haben ein Stahlblechgehäuse mit Aluminium-Zink-Oberfläche zur Verbesserung der Störfestigkeit gemäß IEC61800-3, Umgebung 1 und 2.

Die Antriebsregler CDE/CDB3000 0,37 kW bis 7,5 kW und 22 kW bis 37 kW sind mit integrierten Netzfiltern ausgerüstet. Mit dem von der Norm vorgeschriebenen Messverfahren halten die Antriebsregler die EMV-Produktnorm IEC 61800-3 für „Erste Umgebung“ (Kategorie C2) und „Zweite Umgebung“ (Kategorie C3) ein.

- Öffentliches Niederspannungsnetz (Kategorie C2) Wohnbereich: bis 10 m Motorleitungslänge, genaue Daten können Sie dem Anhang der jeweiligen Betriebsanleitung entnehmen.
- Industrielles Niederspannungsnetz (Kategorie C3) Industriebereich: bis 25 m Motorleitung, genaue Daten können Sie dem Anhang der jeweiligen Betriebsanleitung entnehmen.

Zuordnung Antriebsregler mit externem Netzfilter

Für alle Antriebsregler steht ein externer Funkentstörfilter (EMCxxx) zur Verfügung. Mit diesem Netzfilter halten die Antriebsregler die EMV-Produktnorm IEC61800-3 für „Erste Umgebung“ (Kategorie C2) und „Zweite Umgebung“ (Kategorie C3) ein.

- Öffentliches Niederspannungsnetz (Kategorie C2) Wohnbereich: bis 100 m Motorleitungslänge, genaue Daten können Sie dem jeweiligen Bestellkatalog und/oder dem Kapitel 4.3 entnehmen.
- Industrielles Niederspannungsnetz (Kategorie C3) Industriebereich: bis 150 m Motorleitungslänge, genaue Daten können Sie dem jeweiligen Bestellkatalog und/oder dem Kapitel 4.3 entnehmen.

Weitere Informationen zum Thema “EMV“ können Sie der aktuellen Benutzerdokumentation und den Kapiteln 4.3 und 5.5 entnehmen.

Sicherheit für elektrische Antriebe

Die Typenprüfung der c-line DRIVES wurde konform der Norm EN61800-5-1 durchgeführt. Typische Prüfungen können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden. Bei weiteren Fragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

Prüfmerkmale	Norm
Sichtprüfung	EN61800-5-1 Abschnitt 5.2.1
Luftstrecken / Kriechstrecken	EN61800-5-1 Abschnitt 5.2.2.1
Prüfspannung Stückprüfung	EN61800-5-1 Abschnitt 5.2.3.2
Ableitstrommessung	EN61800-5-1 Abschnitt 5.2.3.5
Kurzschlussfestigkeit	EN61800-5-1 Abschnitt 5.2.3.6
Elektrischer Durchbruch von Bauelementen	EN61800-5-1 Abschnitt 5.2.3.8
Erwärmung	EN61800-5-1 Abschnitt 5.2.3.9
Schutzanschluss	EN61800-5-1 Abschnitt 5.2.3.10
Betriebsunfähige Lüfter	EN61800-5-1 Abschnitt 5.2.4.3
Eingesetzte Isolationswerkstoffe gemäß	UL508C

Tabelle 2.31 Typische Prüfung gemäß EN61800-5-1

Umweltbedingungen CDE/CDB3000

Merkmal		Positionierregler
Temperatur-bereich[3]	bei Betrieb	-10 ... 45 °C (BG1 ... BG5) [2] bei 8 kHz -10 ... 45 °C (BG6 ... 7) bei 4 kHz bis 55 °C mit Leistungsreduzierung [1]
	bei Lagerung	-25 ... +55 °C
	bei Transport	-25 ... +70 °C
Relative Luftfeuchte[3]		15 ... 85 %, Betauung ist nicht zulässig
Schutzart	Gerät	IP20 (NEMA 1)
	Kühlkonzept	Cold Plate IP20 Wandmontage IP20 Durchsteckkühlkörper IP54 (3 -37 kW)
Berührungsschutz		VBG 4
Montagehöhe		bis 1000 m ü. NN, oberhalb 1000 m ü. NN mit Leistungsreduzierung 1% pro 100 m, max. 2000 m ü. NN
Spannungsbelastung der Motorwicklung		Typische Spannungssteilheit 3-6 kV /µs

1) nicht für Regler CDB32.008,C und CDB34.003,C
2) -10 ... -40 °C für Regler CDB32.008,C und CDB34.003,C
3) Weitere Informationen zu den Angaben finden Sie nachfolgend.

Tabelle 2.32 Umweltbedingungen CDE/CDB3000 und Module

Achtung: Den Antriebsregler nicht in Bereichen installieren, in denen er ständigen Erschütterungen ausgesetzt ist. Die Abnahme der Antriebsregler erfolgt nach IEC68-2-6.

Temperaturbereich und Luftfeuchte nach EN61800-2

Die Antriebsregler dürfen bei Umweltbedingungen betrieben, transportiert und gelagert werden, die in IEC60721-3-3 festgelegt sind. Genaue Werte können den nachfolgenden Tabellen entnommen werden.

Betrieb

Umwelteinflussgröße	Einheit	Klasse 3K3
Niedrige Lufttemperatur	°C	+ 5 [1)]
Hohe Lufttemperatur	°C	+ 40 [1)]
Niedrige relative Luftfeuchte	%	5
Hohe relative Luftfeuchte	%	85
Niedrige absolute Luftfeuchte	g/m³	1
Hohe absolute Luftfeuchte	g/m³	25
Temperaturänderungsgeschwindigkeit [2)]	°C/min	0,5

1) Andere Werte können der jeweiligen Betriebsanleitung entnommen werden.
2) Gemittelt über eine Zeitspanne von 5 Minuten.

Tabelle 2.33 Klassifizierung von klimatischen Umweltbedingungen für den Betrieb der c-line Antriebsregler

Transport

Umwelteinflussgröße	Einheit	Klasse 2K3
Niedrige Lufttemperatur	°C	-25
Hohe Lufttemperatur in unbelüfteten Behältern [1)]	°C	+70
Hohe Lufttemperatur in belüfteten Behältern oder in Freiluft [2)]	°C	+40
Relative Luftfeuchte nicht kombiniert mit rascher Temperaturänderung	% °C	95 +40
Absolute Luftfeuchte kombiniert mit rascher Temperaturänderung: Luft/Luft bei hohem Wassergehalt [3)]	g/m³ °C	60 +70/+15

1) Die Oberflächentemperatur eines Erzeugnisses kann beeinflusst werden, einmal durch die hier angegebene Temperatur der Umgebungsluft und zum anderen durch die Sonnenstrahlung, durch Fenster oder andere Öffnungen.
2) Die Oberflächentemperatur eines Erzeugnisses wird beeinflusst durch die hier angegebene Temperatur der Umgebungsluft und durch die angegebene Sonnenstrahlung.
3) Erzeugnisse sind meist nur für eine rasche Temperaturabsenkung ausgelegt (keinen raschen Anstieg). Die Zahlen für den Wassergehalt der Luft sind nur anwendbar für Temperaturen bis hinab zum Taupunkt. Bei niedrigeren Temperaturen wird eine relative Luftfeuchte von ungefähr 100 % angenommen.

Tabelle 2.34 Klassifizierung von klimatischen Umweltbedingungen für den Transport der c-line Antriebsregler

Lagerung

Umwelteinflussgröße	Einheit	Klasse 1K3	Klasse 1K4
a) Niedrige Lufttemperatur	°C		-25
b) Hohe Lufttemperatur	°C		+55
c) Niedrige relative Luftfeuchte [1)]	%	5	
d) Hohe relative Luftfeuchte [1)]	%	95	
e) Niedrige absolute Luftfeuchte [1)]	g/m³	1	
f) Hohe absolute Luftfeuchte [1)]	g/m³	29	
g) Temperaturänderungsgeschwindigkeit [2)]	°C/min	0,5	

1) Die Werte für niedrige bzw. hohe relative Luftfeuchte werden durch die Werte für niedrige und hohe absolute Luftfeuchte begrenzt, so dass z. B. die festgelegten Grenzwerte für die Umwelteinflussgrößen a) und c) oder b) und d) nicht gleichzeitig auftreten.

2) Gemittelt über eine Zeitspanne von 5 Minuten.

Tabelle 2.35 Klassifizierung von klimatischen Umweltbedingungen für die Lagerung der c-line Antriebsregler

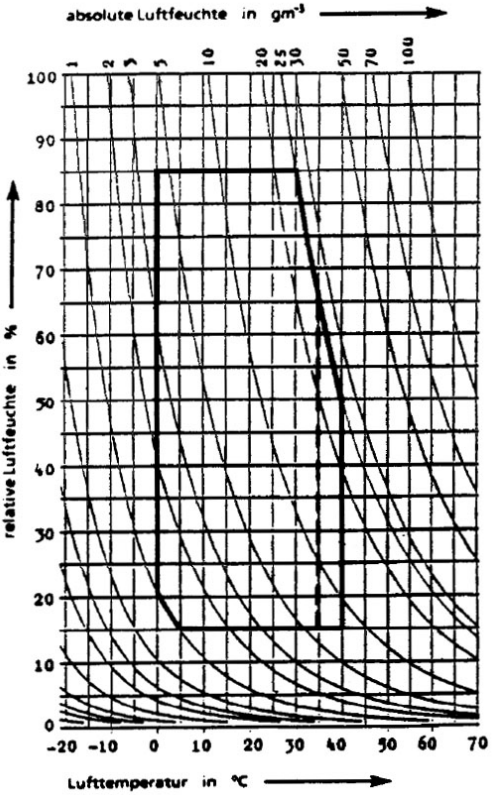


Bild 3.2 Zusammenhang zwischen Luftfeuchte und Lufttemperatur

Schutzbeschichtung PC1 (Ausführungsschlüssel)
Durch die Beschichtung mit Schutzlack können elektronische Baugruppen vor negativen Einflüssen wie Betauung, Staub, Lösungsmittel und andreren vorkommenden Verunreinigungen etwas länger geschützt werden!
Die in der Betriebsanleitung vorgeschriebenen Umweltbedingungen ändern sich bei Antriebsreglern mit Ausführung „PC1“ nicht.

3.1.2 Modulares Kühlkörperkonzept

Das modulare Kühlkörperkonzept bietet Lösungen mit:

- Konvektionskühlkörper
- Durchsteckkühlkörper
- Cold-Plate-Kühlkörper
- Flüssigkeitskühlkörper

Im Standardlieferprogramm erhalten Sie Konvektions- und Durchsteckkühlkörperlösungen. Flüssigkeitskühlkörper und Cold-Plate-Kühlkörper werden nur auf Anfrage angeboten, da in diesen Anwendungsfällen sehr viele Randbedingungen zu beachten sind.

Kühlkonzepte

Das Basismodul der Positionierregler bietet zwei verschiedene Montage- und Kühlkonzepte (Beispiel CDB3000, Baugröße 3).

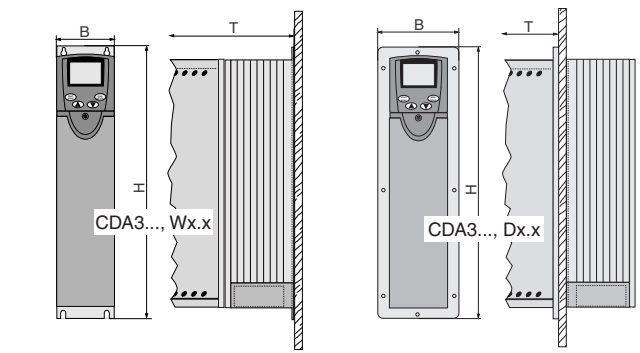


Bild 3.3 Kühlkonzepte

Baugröße	Leistung	Positionierregler	Wand-montage	Durchsteck-kühlkörper	Cold Plate	Wasserkühlung
BG1	0,375 kW 0,75 kW	CDE/CDB32.003 CDE/CDB32.004	JA[1)]	NEIN	JA	NEIN
BG2	1,5 kW 0,75 kW 1,5 kW	CDE/CDB32.008 CDE/CDB34.003 CDE/CDB34.005	JA[1)]	NEIN	JA	NEIN
BG2	2,2 kW	CDE/CDB34.006	JA	NEIN	auf Anfrage[3)]	NEIN
BG3	3,0 kW 4,0 kW	CDE/CDB34.008 CDE/CDB34.010	JA	JA[2)]	auf Anfrage[3)]	auf Anfrage
BG4	5,5 kW 7,5 kW	CDE/CDB34.014 CDE/CDB34.017	JA	JA[2)]	auf Anfrage[3)]	auf Anfrage
BG5	11 kW 15 kW	CDE/CDB34.024 CDE/CDB34.032	JA	JA[2)]	auf Anfrage[3)]	auf Anfrage
BG6	22 kW 30 kW 37 kW	CDE/CDB34.044 CDE/CDB34.058 CDE/CDB34.070	JA	JA[2)]	auf Anfrage[3)]	auf Anfrage[3)]
BG7a	45 kW 55 kW 75 kW	CDE/CDB34.088 CDE/CDB34.108 CDE/CDB34.140	JA	auf Anfrage	NEIN	auf Anfrage
BG7b	90 kW	CDE/CDB34.168	JA	auf Anfrage	NEIN	auf Anfrage

1) entspricht der Bauart Cold Plate mit Zubehör Kühlkörper HS3X.xxx
2) Schutzart der Kühlkörperseite ist IP54
3) diese Kühlkonzepte werden bereits in Serienanwendung geliefert

Tabelle 3.1 Übersicht modulares Kühlkonzept

Weitere Informationen zu diesem Thema können Sie der aktuellen Benutzerdokumentation, dem Kapitel 5.1 "Wärmeabführung aus dem Schaltschrank" und Kapitel 5.2 "Wärmeübertragung durch Wärmeleitung" entnehmen.

3.2 Maßnahmen zu Ihrer Sicherheit

Die nachfolgenden Hinweise sind vor der ersten Inbetriebnahme, zur Vermeidung von Körperverletzungen und/oder Sachschäden, zu lesen.
Die Sicherheitshinweise sind jederzeit einzuhalten.

Lesen Sie zuerst die Betriebsanleitung!

- Sicherheitshinweise beachten!
- Benutzerinformationen beachten!

Von elektrischen Antrieben gehen grundsätzlich Gefahren aus:

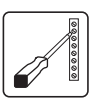
- elektrische Spannungen 230 V/460 V:
  Auch 10 min. nach Netz-Aus können noch gefährlich hohe Spannungen anliegen. Deshalb auf Spannungsfreiheit prüfen!
- rotierende Teile
- heiße Oberflächen

Schutz vor magnetischen und/oder elektromagnetischen Feldern bei Montage und Betrieb:

- Personen mit Herzschrittmachern, metallischen Implantaten und Hörgeräten usw. ist der Zugang zu folgenden Bereichen untersagt:
  - Bereiche, wo Antriebssysteme montiert, repariert und betrieben werden.
  - Bereiche, wo Motoren montiert, repariert und betrieben werden. Besondere Gefahr geht von Motoren mit Dauermagneten aus. Besteht die Notwendigkeit, solche Bereiche zu betreten, so ist dieses zuvor von einem Arzt zu entscheiden.

Ihre Qualifikation:

- Zur Vermeidung von Personen- und Sachschäden darf nur qualifiziertes Personal mit elektrotechnischer Ausbildung an dem Gerät arbeiten.
- Die qualifizierte Person muss sich mit der Betriebsanleitung vertraut machen (vgl. IEC364, DIN VDE0100).
- Kenntnis der nationalen Unfallverhütungsvorschriften (z. B. BGV A2 (VBG 4) in Deutschland)



Beachten Sie bei der Installation:

- Anschlussbedingungen und technische Daten unbedingt einhalten.
- Normen zur elektrischen Installation beachten, z. B. Leitungsquerschnitt, Schutzleiter- und Erdungsanschluss.
- Elektronische Bauteile und Kontakte nicht berühren (elektrostatische Entladung kann Bauteile zerstören).

Verwendete Piktogramme

Die Sicherheitshinweise beschreiben die folgenden Gefahrenklassen.
Die Gefahrenklasse beschreibt das Risiko bei Nichtbeachtung des Sicherheitshinweises.

Warnsymbole	Allgemeine Erklärung	Gefahrenklasse nach ANSI Z 535
	Achtung! Fehlbedienung kann zu Beschädigung oder Fehlfunktion des Antriebs führen.	Körperverletzung oder Sachschäden können eintreten.
	Gefahr durch elektrische Spannung! Falsches Verhalten kann Menschenleben gefährden.	Tod oder schwere Körperverletzung werden eintreten.
	Gefahr durch rotierende Teile! Antrieb kann automatisch loslaufen.	Tod oder schwere Körperverletzungen werden eintreten.

3.2.1 Bestimmungsgemäße Verwendung

Antriebsregler sind Komponenten, die zum Einbau in ortsfeste elektrische Anlagen oder Maschinen bestimmt sind. Es ist darauf zu achten, dass der nach IEC 61800-1, IEC 61800-2 und IEC 61800-4 geforderte Verschmutzungsgrad 2 eingehalten wird.

Beim Einbau in Maschinen ist die Inbetriebnahme der Antriebsregler (d. h. die Aufnahme des bestimmungsgemäßen Betriebes) solange untersagt, bis festgestellt wurde, dass die Maschine den Bestimmungen der EG-Richtlinie 98/37/EG (Maschinenrichtlinie) entspricht; EN 60204 ist zu beachten.

Die Inbetriebnahme (d. h. die Aufnahme des bestimmungsgemäßen Betriebes) ist nur bei Einhaltung der EMV-Richtlinie (89/336/EWG) erlaubt.

CE Der CDx3000 ist konform mit der Niederspannungsrichtlinie 73/23/EWG.

Die harmonisierten Normen der Reihe EN 50178/DIN VDE 0160 in Verbindung mit EN 60439-1/ VDE 0660 Teil 500 und EN 60146/ VDE 0558 werden für die Antriebsregler angewendet.

Kommt der Antriebsregler in besonderen Anwendungsgebieten, z. B. in explosionsgefährdeten Bereichen, zum Einsatz, so sind dafür die einschlägigen Vorschriften und Normen (z. B. im Ex-Bereich EN 50014 “Allgemeine Bestimmungen” und EN 50018 “Druckfeste Kapselung”) unbedingt einzuhalten.

Reparaturen dürfen nur durch autorisierte Reparaturstellen vorgenommen werden. Eigenmächtige, unbefugte Eingriffe können zu Tod, Körperverletzungen und Sachschäden führen. Die Gewährleistung durch LTi erlischt.

- Der Einsatz der Antriebsregler in nicht ortsfeste Ausrüstungen gilt als außergewöhnliche Umweltbedingung und ist nur nach gesonderter Vereinbarung zulässig.
- Der Antriebsregler muss entsprechend dem „Verschmutzungsgrad 2“ nach EN 61800-5-1 in ein Gehäuse/Einbauort mit mindestens Schutzklasse IP3x eingebaut werden.
- Ist der Verschmutzungsgrad am Einbauort größer 2, dann muss der Anwender des Antriebsreglers diesen in ein Gehäuse/Einbauort entsprechend dem vorliegenden Verschmutzungsgrad (3 oder 4) einbauen.

Verantwortlichkeit

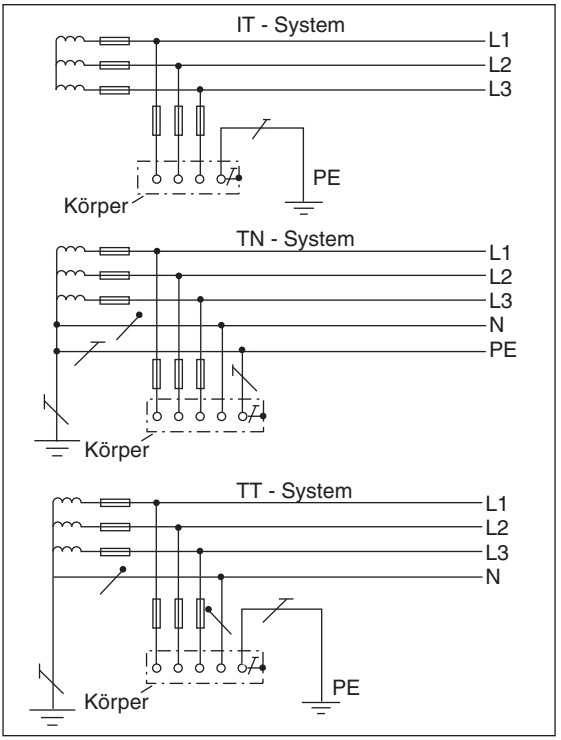
Elektronische Geräte sind grundsätzlich nicht ausfallsicher. Der Errichter und/oder Betreiber der Maschine bzw. Anlage ist dafür verantwortlich, dass bei Ausfall des Gerätes der Antrieb in einen sicheren Zustand geführt wird.

In der EN 60204-1/DIN VDE 0113 “Sicherheit von Maschinen” werden in dem Thema “Elektrische Ausrüstung von Maschinen” Sicherheitsanforderungen an elektrische Steuerungen aufgezeigt. Diese dienen der Sicherheit von Personen und Maschinen sowie der Erhaltung der Funktionsfähigkeit der Maschine oder Anlage und sind zu beachten.

Die Funktion einer Not-Aus-Einrichtung muss nicht unbedingt zum Abschalten der Spannungsversorgung des Antriebs führen. Zum Abwenden von Gefahren kann es sinnvoll sein, einzelne Antriebe weiter in Betrieb zu halten oder bestimmte Sicherheitsabläufe einzuleiten. Die Ausführung der Not-Aus-Maßnahme wird durch eine Risikobetrachtung der Maschine oder Anlage einschließlich der elektrischen Ausrüstung nach DIN EN 1050 beurteilt und nach DIN EN 954-1 “Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen” mit Auswahl der Schaltungskategorie bestimmt.

3.2.2 Netzbedingung

Die DIN VDE 0100-300: 1996-01 unterscheidet drei Netzsysteme. Es wird besonders deutlich, wie sich das IT-Netzsystem vom TT- und TN-Netzsystem durch die Art der Erdverbindung unterscheidet.



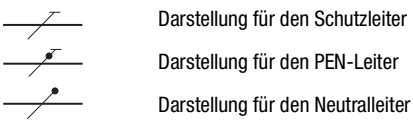


Bild 3.4 IT-, TN- und TT-Netzsystem

Erster Buchstabe - Beziehung des Versorgungssystems zur Erde:

T direkte Verbindung eines Punktes zur Erde,
I entweder alle aktiven Teile von Erde getrennt oder ein Punkt über eine hochohmige Impedanz mit Erde verbunden.

Zweiter Buchstabe - Beziehung der Körper der elektrischen Anlage zur Erde:

T Körper direkt geerdet, unabhängig von der etwa bestehenden Erdung eines Punktes des Versorgungssystems,

N Körper direkt mit dem geerdeten Punkt des Versorgungssystems verbunden (in Wechselstromsystemen ist der geerdete Punkt im Allgemeinen der Sternpunkt oder, falls ein Sternpunkt nicht vorhanden ist, ein Aussenleiter).

Spannungsverhältnisse im IT-Netzsystem

Bei einem IT-System stellen sich die Spannungen der Aussenleiter gegen Erde entsprechend den Spannungsverteilungen durch die Ableitimpedanzen ein. Diese Impedanzen bestehen aus den Kapazitäten der Leiter und denen der Betriebsmittel gegen Erde und den hierzu parallel geschalteten Isolationswiderständen. Sind diese Ableitimpedanzen für jeden Leiter gleich groß, führen auch alle Aussenleiter die gleiche Spannung gegen Erde. Hochohmige Spannungsmesser, die zwischen Aussenleiter und Erde geschaltet werden, zeigen den gleichen Wert an. In Drehstromnetzen ist das die Sternspannung; bei Wechselstromnetzen wird die halbe Leiterspannung angezeigt. Isolationsüberwachungsgeräte sollen daher symmetrisch angekoppelt werden. Tritt bei einem Leiter ein Erdschluss ein, bricht dessen Spannung gegen Erde zusammen. Da aber die Spannung zwischen den Leitern bestehen bleibt, werden die gesunden Leiter auf die Leiterspannung gegen Erde angehoben.

Diese erhöhte Spannungsbeanspruchung kann an einem Punkt geringer elektrischer Isolationsfestigkeit zu einem Durchschlag und damit zu einem Doppelkörperschluss führen.

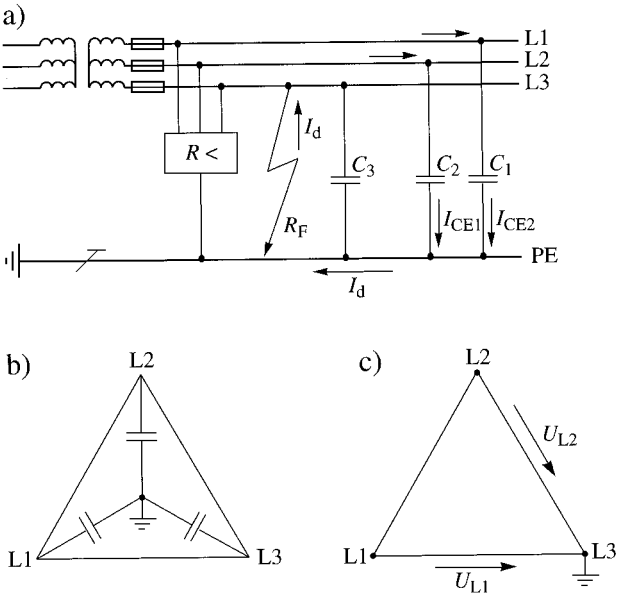


Bild 3.5 Spannungs- und Stromverhältnis im IT-System

a) IT-System mit Erdschluss auf Leiter L3. Über die Kapazitäten der gesunden Leiter fließt der Erdschlussstrom $I_{d.}$

b) Leiterspannung gegen Erde bei symmetrischer Leiterkapazität. Alle Leiter führen die Sternspannung gegen Erde.

c) Leiterspannung gegen Erde im Netz. Netz mit einem Erdschluss an Leiter L3. Die gesunden Leiter führen die Leiterspannung gegen Erde. Diese bestimmt über die Leiterkapazitäten den Betrag des Erdschlussstroms.

Netzbedingungen für Antriebsregler CDx3000

Für den Betrieb der Antriebsregler CDx3000 an den verschiedenen Netzsystemen müssen nachfolgend aufgezeigte Bedingungen beachtet werden:

Netzsystem	Betrieb mit Antriebsregler CDx3000	Bemerkung
TN und TT	uneingeschränkt zulässig	• Anschlussdaten beachten • Beste Netzform im Hinblick auf EMV
IT mit isoliertem Sternpunkt	Der Betrieb der Antriebsregler an dieser Netzform ist nicht zulässig.	siehe Kapitel 3.2.3, "Betrieb am IT-Netz"

Tabelle 3.2 Netzbedingungen

Betrieb von mehreren CDx32.xxx (1 x 230 V) am Netz 3 AC/N/PE: Um eine gleichmäßige Netzbelastung zu erhalten, sollte eine symmetrische Aufteilung der Antriebsregler auf die drei Außenleiter vorgenommen werden. Belastung des gemeinsamen Null-Leiter beachten, evtl. den Querschnitt vergrößern.

3.2.3 Betrieb am IT-Netz

Einschränkung der elektrischen Sicherheit und Anlagenverfügbarkeit bei Einsatz von Antriebsreglern mit integrierten Funkentstörfiltern in IT-Netzen

In räumlich ausgedehnten Anlagen wie z. B. Walzwerke, Zuckerindustrie, Bordnetze in Schiffen, Chemieanlagen, Krananlagen kommen häufig isolierte Versorgungsnetze (z. B. Neutralleiter wird an der Sekundärseite des Mittelspannungstrafos nicht mit Erdpotenzial verbunden) zum Einsatz. Dies ist dann von Vorteil, wenn Betriebsmittel außerhalb klimatisch geschützter Umgebungen betrieben werden und durch die dort auftretende Feuchtigkeit in Einzelfällen mit Erdschlüssen während des Betriebes gerechnet werden muss.

Die Erdschlüsse werden durch zentrale Isolationswächter elektronisch erkannt (Kapitel 5.8.3) und an die Leitwarte als anstehender Reparaturauftrag gemeldet. Der Vorteil bei isolierten Netzen besteht darin, dass der Produktionsprozess trotz eines Erdschlusses ohne Einschränkung weiter gefahren werden kann, bis sich ein günstiger Zeitpunkt in der Produktionslogistik zu Reparatur oder Austausch des betreffenden Betriebsmittels ergibt.

Die Funktionsweise dieser Anlage wird in großem Maße von den verteilt vorhanden parasitären Kapazitäten (Y-Kapazitäten) der Zuleitungen zum Erdpotenzial bestimmt. Wird die Summe aller parasitären Y-Kapazitäten zu groß, so ist eine Erdschlusserkennung nicht mehr einwandfrei möglich.

Funkentstörfilter in drehzahlveränderbaren Antrieben funktionieren jedoch überwiegend mit Y-Kapazitäten als Rückleiter für die hochfrequenten Funkstörströme zum Umrichter und können daher mit dem Verfügbarkeitskonzept der Anlage unverträglich sein.

Weiterhin kann das Wartungspersonal beim Betrieb der Anlage nicht mehr mit einem lediglich schwach kapazitiv geerdeten Netz rechnen, was in die praktischen Maßnahmen zur Elektrischen Sicherheit einfließen muss.

Für diese Fälle ist in der IEC 61800-3 die Kategorie C4 vorgesehen. Dort ist vorgesehen, mit dem Anwender einen EMV-Plan zu vereinbaren.

Betrieb von CDx3000 (0,75 bis 7,5 kW) und CDE/B3000 (22 bis 37 kW) am IT-Netz

Die c-line Antriebsregler werden für den Betrieb an TN und TT-Netz entwickelt.

Der Betrieb am IT-Netz ist nur zulässig, wenn kein aktiver Leiter der Anlage direkt geerdet ist und die Körper (Umrichter, Motor u. a.) einzeln, gruppenweise oder in ihrer Gesamtheit mit dem Schutzleiter (Erde) verbunden sind.

Der Betreiber hat nachfolgende Bedingungen zu beachten:

1. Der interne Netzfilter (siehe Kapitel 3.1.1, 4.3 und 5.5) ist weiterhin wirksam. Es muss, entsprechend der Norm IEC 61800-3, eine „Anlagen bezogene“ EMV-Planung durchgeführt werden.

   Der Betreiber hat zu überprüfen, ob der durch den internen Netzfilter erzeugte Ableitstrom zulässig ist. Er muss sicherstellen, dass seine zentrale Isolationsüberwachung durch die Erhöhung der parasitären Y-Kapazitäten bzw. dem dadurch verursachten, zusätzlichen Ableitstrom weiterhin einwandfrei funktionsfähig ist.

- Die typischen Ableitströme und das Messverfahren zur Ermittlung der Ableitströme entnehmen Sie bitte Kapitel 3.2.8, "Ableitströme".
- Bitte beachten Sie, dass beim erstmaligen Einschalten am Antriebsregler kurzzeitig hohe Y-Kondensator-Aufladeströme auftreten.

2. Der Betreiber muss den Umrichter beim Auftreten eines Isolationsfehlers (aktiver Leiter des IT-Systems mit Erdschluss) so schnell wie möglich vom Netz trennen, da in diesem Fall die Y-Kondensatoren oberhalb ihrer Nennspannung betrieben werden.

   Der Umrichter selbst nimmt keinen Schaden, wenn er gesamthaft weniger als 1000 Stunden am IT-Netz mit Isolationsfehler betrieben wird. Dieser Wert wird in der EN 132400 als Mindestforderung bei 1,7facher Kondensatornennspannung für die Prüfung von Y-Kondensatoren festgelegt.

Betrieb von CDA/D3000 (22 bis 90 (132) kW) und CDE/B3000 (45 bis 90 kW) am IT-Netz

Die Antriebsregler wurden für den Betrieb am TN und TT-Netz entwickelt. Der Betrieb am IT-Netz ist nur zulässig, wenn kein aktiver Leiter der Anlage direkt geerdet ist und die Körper (Umrichter, Motor, u. a.) einzeln, gruppenweise oder in Ihrer Gesamtheit mit dem Schutzleiter (Erde) verbunden sind.

Der Betreiber hat nachfolgende Bedingungen zu beachten:

1. Um die Störsicherheit (Burstfestigkeit) der Antriebsregler sicherzustellen, sind Y-Kondensatoren im Antriebsregler eingebaut.

   Der Betreiber hat sicher zu stellen, dass seine zentrale Isolationsüberwachung durch die Erhöhung der parasitären Y-Kapazitäten bzw. dem dadurch verursachten, zusätzlichen Ableitstrom, weiterhin fehlerfrei funktionsfähig ist. Er muss, entsprechend der Norm IEC 61800-3, eine “Anlagen bezogene“ EMV-Planung (Kategorie C4) durchführen.

2. Der Betreiber muss den Umrichter beim Auftreten eines Isolationsfehlers (aktiver Leiter des IT-Systems mit Erdschluss) so schnell wie möglich vom Netz trennen, da in diesem Fall die Y-Kondensatoren oberhalb ihrer Nennspannung betrieben werden.

   Der Umrichter selbst nimmt keinen Schaden, wenn er gesamthaft weniger als 1000 Stunden am IT-Netz mit Isolationsfehler betrieben wird. Dieser Wert wird in der EN 132400 als Mindestforderung bei 1,7facher Kondensatornennspannung für die Prüfung von Y-Kondensatoren festgelegt.

Bitte beachten Sie, dass beim erstmaligen Einschalten der Antriebsregler kurzzeitig hohe Y-Kondensator-Aufladeströme auftreten.

3.2.4 Belastung des Versorgungsnetzes

Alle Antriebssysteme nehmen aus dem Netz einen nicht sinusförmigen Strom auf. Dies ist bedingt durch den 1/3-phasigen Eingangsgleichrichter im Antriebsreglereingang. Diese nicht sinusförmige Stromaufnahme führt zu Spannungsverzerrungen (THD = Total Harmonic Distortion) im Netz.

Je nach örtlichen Bestimmungen müssen Netzdrosseln zur Reduzierung der Spannungsverzerrungen eingesetzt werden. Eine Netzdrossel reduziert die Spannungsverzerrung im Netz um ca. 67 %.

Netzbelastung

	ohne Netzdrossel	mit Netzdrossel	Veränderung
	4 kW Antriebsregler, Netzimpedanz 0,6 mH	4 kW Antriebsregler, Netzimpedanz 6 mH	**ohne Netzdr. zu mit Netzdr.**
Spannungsverzerrung (THD)	99 %	33 %	-67 %
Netzstrom Amplitude	18,9 A	9,7 A	-48 %
Netzstrom effektiv	8,5 A	6,23 A	-27 %
Kommutierungseinbrüche bezogen auf die Netzspannung	28 V	8 V	-70 %
Lebensdauer der Zwischenkreiskondensatoren	Nennlebensdauer	2-3fache Nennlebensdauer	+200 bis 300 %

Tabelle 3.3 Veränderung der Netzbelastung durch Einsatz einer Netzdrossel mit 4 % Kurzschlussspannung am Beispiel eines 4 kW c-line Antriebsreglers CDx34.010

Weiteres zum Thema „Netzrückwirkung von elektrischen Antrieben“ und „Netzdrosseln“ entnehmen Sie bitte der aktuellen Benutzerdokumentation und den Kapiteln 4.1/5.3.

3.2.5 Allgemeines zu den Leistungsanschlüssen

Der Mindestquerschnitt der Leistungsanschlussleitungen richtet sich nach den örtlichen Bestimmungen (VDE 0298-4:1998-11), der Umgebungstemperatur und dem geforderten Nennstrom sowie der Nennspannung.

Strombelastbarkeit von Mehraderleitungen und Zuordnung von Schutzorganen nach VDE 0298-4: 1998-11

Nennquerschnitt in mm²	Mehraderleitung (z. B. Mantelleitungen oder bewegliche Leitungen)	
	Leitungsnennstrom (Cu) in A[1)]	Schutzorgan Nennstrom in A[1)]
0,75	12	-
1,0	15	-
1,5	18	16
2,5	26	25
4	34	32
6	44	40
10	61	40
16	82	80
25	108	100
35	135	125
50	168	125
70	207	160
95	250	200
120	292	250
150	335	315
185	382	315
240	453	400
300	504	400
1) Werte gelten für Kupferleitungen, bei 30 °C Umgebungstemperatur.		

Tabelle 3.4 Strombelastbarkeit von Mehraderleitungen

Strombelastbarkeit von Mehraderleitungen in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur nach VDE 0298 Teil 4: 1998-11

Isolierwerkstoff*)	NR/SR	PVC	EPR
Zulässige Betriebstemperatur	60 °C	70 °C	80 °C
Umgebungstemperatur °C	Umrechnungsfaktoren		
10	1,29	1,22	1,18
15	1,22	1,17	1,14
20	1,15	1,12	1,10
25	1,08	1,06	1,05
30	1,00	1,00	1,00
35	0,91	0,94	0,95
40	0,82	0,87	0,89
45	0,71	0,79	0,84
50	0,58	0,71	0,77
55	0,41	0,61	0,71
60	-	0,50	0,63
65	-	-	0,55
70	-	-	0,45
*) bei höheren Umgebungstemperaturen nach Herstellerangaben			

Tabelle 3.5 Strombelastbarkeit von Mehraderleitungen in Abhängigkeit der Umgebungstemperatur

Weiteres zum Thema „Strombelastbarkeit und Schutz von Leitungen mit PVC-Isolierung“ finden Sie in der VDE 0100 Teil 430.

Schutz der Netzanschlussleitung

Es können normale gL/gG-Sicherungen zum Schutz der Netzanschlussleitung[1)] verwendet werden.

Die Sicherungen müssen gemäß den örtlichen Sicherheitsvorschriften, der passenden Netzspannung und dem entsprechenden Nenneingangsstrom des Antriebsreglers ausgelegt werden.

Wenn handelsübliche LS-Sicherungsautomaten zum Schutz[1)] eingesetzt werden sollen, muss die Auslösecharakteristik „C“ projektiert werden.

1) Die Sicherung schützt die Eingangsgleichrichterbrücke des Antriebsreglers nicht, sie dient als reiner Leitungsschutz.

Mindestquerschnitt des Schutzleiters nach VDE 0100 Teil 540

Querschnitt	PE-Netzanschluss
Netzanschlusskabel < 10 mm²	Schutzleiterquerschnitt von mindestens 10 mm² **oder** Verlegen eines zweiten elektrischen Leiters parallel zum vorhandenen Schutzleiter, da der betriebliche Ableitstrom > 3,5 mA ist.
Netzanschlusskabel > 10 mm²	PE-Leiter mit Querschnitt des Netzanschlusskabels siehe VDE 0100 Teil 540

Tabelle 3.6 Mindestquerschnitt des Schutzleiters

3.2.6 cUL-Abnahme

Die Antriebsregler der c-line DRIVES erhalten die cUL-Approbation. Die cUL-Approbation ist gleichberechtigt mit der Approbation UL-Listing und CSA-Certification.

Die genauen Daten zur Abnahme entnehmen Sie bitte der aktuellen Benutzerdokumentation Ihres Antriebsreglers.

Begriffsdefinition:

UL-Listing
Das Produkt erfüllt Anforderungen gegenüber allen erkennbaren Gefahren.
Diese Zulassung gilt für Endprodukte, die vom Anwender unmittelbar und universell verwendet werden können, z. B. ein PC, ein Antriebsregler, ein Monitor, ein Bügeleisen usw.

UL-Component Recognition
Produkt, das als Komponente in Endprodukte eingebaut wird.
Diese Komponenten wurden entsprechend den Spezifikationen und Anwendungsbedingungen des Herstellers untersucht; weitergehende, die Endprodukte betreffende Anforderungen (z. B. Berührungsschutz) werden nicht geprüft. Die Zulassung erfolgt daher nur mit Einschränkungen unter der Voraussetzung, dass die Komponenten im Endprodukt bestimmungsgemäß verwendet werden.
Zulassungen von Komponenten richten sich daher nur an Hersteller, die diese Komponenten in Endprodukte einbauen. Den Betreiber der Endprodukte betrifft eine eventuelle Zulassung der eingebauten Komponenten dagegen nicht.
Beispiele zugelassener Komponenten: Stecker, Netzdrosseln, Motordrosseln, Sicherungen, Leiterplatten usw., aber auch Einbaugeräte wie Stromversorgungen, Laufwerke oder ein Monitor, wenn er in eine größere Einheit eingebaut wird.

CSA-Certification:
Produkt erfüllt die CSA-Anforderungen.
Die Bezeichnung CSA-zugelassener Produkte lautet “CSA-Certified", unabhängig davon, ob es sich um Endprodukte oder um Komponenten handelt; die Unterscheidung geht jedoch klar aus dem CSA-Report hervor, ebenso wie die Anwendungsbedingungen und Einschränkungen.

Multiple Listing
Hierunter versteht man den Fall, dass bestimmte Produkte vom Hersteller selbst unter eigenem Namen und zusätzlich als Handelsware durch Dritte vertrieben werden. In derartigen Fällen wird in einem gemeinsamen Antrag beider Parteien die ursprüngliche Zulassung auf den Handelspartner übertragen, eine neuerliche Abnahme ist nicht notwendig.

cUL-gelisteten Antriebsregler

Antriebsregler-Leistungsstufen	CDAxx.xxx,x,...	CDBxx.xxx,x,...	CDDxx.xxx,x,...	CDExx.xxx,x,...
32.003,C	✓	✓	✓	✓
32.004,C	✓	✓	✓	✓
32.006,C	✓	✓	✓	✓
32.006,W	✓	✓	✓	✓
32.008,C	✓	✓	✓	✓
32.008,W	✓	✓	✓	✓
34.003,C	✓	✓	✓	✓
34.003,W	✓	-	✓	-
34.005,C	✓	✓	✓	✓
34.005,W	✓	✓	✓	✓
34.006,W	✓	✓	✓	✓
34.008,W	✓	✓	✓	✓
34.010,W	✓	✓	✓	✓
34.014,W	✓	✓	✓	✓
34.017,W	✓	✓	✓	✓
34.024,W	✓	✓	✓	✓
34.032,W	✓	✓	✓	✓
34.044,W	1)	✓	2)	✓
34.045,W	✓	-	✓	-
34.058,W	1)	✓	2)	✓
34.060,W	✓	-	✓	-
34.070,W	1)	✓	2)	✓
34.072,W	✓	-	✓	-

Tabelle 3.7 cUL abgenommene Antriebsregler

Antriebsregler-Leistungsstufen	CDAxx.xxx,x,...	CDBxx.xxx,x,...	CDDxx.xxx,x,...	CDExx.xxx,x,...
34.090,W	✓	-	✓	-
34.110,W	✓		✓	-

✓ gekennzeichnete Geräte sind cUL gelistet
- gekennzeichnete Geräte sind nicht cUL gelistet
1) nur bei Sondergeräten CDA54.xxx
2) nur bei Sondergeräten CDD54.xxx

Tabelle 3.7 cUL abgenommene Antriebsregler

Achtung: Die cUL abgenommenen Antriebsregler CDx34.024,W und/ oder CDx34.032,W müssen bei generatorischer Belastung (4 Q-Betrieb) mit externem UR und abgenommenen Bremswiderständen betrieben werden.

Alle CDA- und CDD-Antriebsregler sind auch in Ausführung HF (CDxxx.xxx,W,HF) zugelassen.

Maßnahmen zur Einhaltung der UL-Approbation

1. Die Gehäusemontage mit Schutzart IP54 und Verschmutzungsgrad 2 ist zwingend vorgeschrieben.
2. Die Geräte dürfen nur an Netzen der Überspannungskategorie III betrieben werden.
3. Es dürfen nur UL-approbierte Sicherungen und Sicherungsschalter verwendet werden.
   CDx32.xxx: Netzsicherungen min. 250 V H oder K5
   CDE/B34.xxx bis 34.032: Netzsicherungen 600 V H oder K5
   CDA/D34.xxx: Netzsicherungen 600 V H oder K5
   CDE/B34.044 bis 34.070: 600 V - RK1
4. Die Geräte sind einsetzbar in Netzen mit einem maximalen Stromvermögen von 5000 A.

Die Geräteanschlussleitungen (Netz-, Motor- und Steuerleitungen) müssen UL-approbiert sein.
CDx32.xxx: Min. 300 V-Leitungen (Netz/Motor), Cu 75 °C min.
CDx34.xxx: Min. 600 V-Leitungen (Netz/Motor), Cu 75 °C min.

Gerät	Leitungsquerschnitt	Netzsicherung
CDx32.004	AWG 16 [N/M]	10 A
CDx32.006	AWG 14 [N]/AWG 16 [M]	15 A
CDx32.008	AWG 14 [N]/AWG 16 [M]	20 A
CDx34.003	AWG 16 [N/M]	10 A
CDx34.005	AWG 16 [N/M]	10 A
CDx34.006	AWG 16 [N/M]	10 A
CDx34.008	AWG 14 [N/M]	15 A
CDx34.010	AWG 14 [N/M]	15 A
CDx34.014	AWG 12 [N/M]	20 A
CDx34.017	AWG 12 [N/M]	25 A
CDx34.024	AWG 10 [N/M]	30 A
CDx34.032	AWG 8 [N/M]	50 A
CDA/D34.045	AWG 6 [N/M]	50 A
CDA/D34.060	AWG 6 [N/M]	63 A
CDA/D34.072	AWG 4 [N/M]	80 A
CDA/D34.090	AWG 2 [N/M]	100 A
CDA/D34.110	AWG 1 [N/M]	125 A
CDA/D34.143	AWG 2/0 [N/M]	160 A

Tabelle 3.8 Auslegung der Leitungsquerschnitte Netz [N], Motor [M], Netzsicherungen

3.2.7 Betrieb am FI-Schutzschalter

Bei Betrieb des Antriebsreglers ist wegen der internen Entstörkondensatoren, der hohen Taktfrequenzen, der parasitären Kapazitäten, der Endstufe, der Motorleitung und Funkentstörfilter der Ableitstrom > 3,5 mA. Er kann in Einzelfällen mehrere 100 mA annehmen.

Der Antriebsregler muss daher in jedem Fall sorgfältig geerdet werden (VDE 0100 Teil 540, EN 50178), um mit den oberhalb 3,5 mA geltenden Bestimmungen über erhöhte Ableitströme im Einklang zu sein.

Fehlerstrom-Schutzschalter (FI-Schutzschalter) sind entsprechend der örtlichen Vorschriften anzuwenden. Es ist jedoch zu beachten, dass der Ableitstrom aufgrund des 3-phasigen Eingangsgleichrichters einen Gleichstromanteil enthalten kann.

Es dürfen nur allstromsensitive FI-Schutzschalter eingesetzt werden, die für Antriebsreglerbetrieb geeignet sind.
FI-Verträglichkeit: Der Antriebsregler kann im Fehlerfall DC-Fehlerströme ohne Nulldurchgang erzeugen. Deshalb dürfen die Antriebsregler nur an allstromsensitiven RCM Typ B (FI-Schutzeinrichtung) betrieben werden, siehe DIN VDE 0160 und DIN VDE 0664.

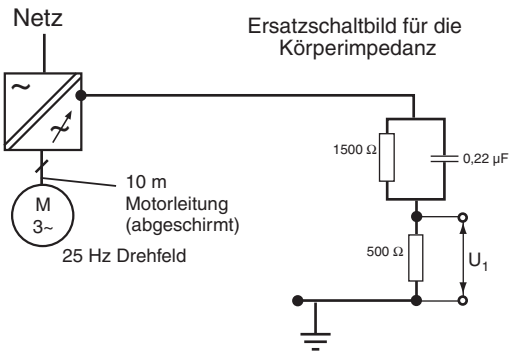
Hinweis: Weiteres zum Thema „Fehlerstromüberwachung“ können Sie dem Kapitel 5.8 entnehmen.

3.2.8 Ableitströme

Auch bei fehlerfreien elektrischen Geräten und Anlagen können von aktiven Teilen ausgehende Ableitströme auftreten. Bedingt durch den Aufbau der elektrischen Systeme fließen diese Ströme gegen Erde ab. Ist jedoch der Schutzleiter unterbrochen, werden sie ebenfalls als Berührungsstrom wirksam.

Hinweis: Eine Antriebslösung mit c-line Antriebsreglern hat in der Regel einen Ableitstrom > 3,5 mA. Das System ist deshalb sorgfältig zu erden (VDE 0100) und mit den Bestimmungen für Ableitströme > 3,5 mA in Einklang zu bringen.

Typische Ableitströme der Antriebsregler



1) Die Ableitströme werden bei der Typenprüfung einmalig ermittelt.

Bild 3.6 Typischer Messaufbau zur Ermittlung der Ableitströme von c-line DRIVES

Bitte beachten Sie, dass die angegebenen Ableitströme beim Einschalten des Gerätes durch das Aufladen der Y-Kondensatoren kurzzeitig überschritten werden.

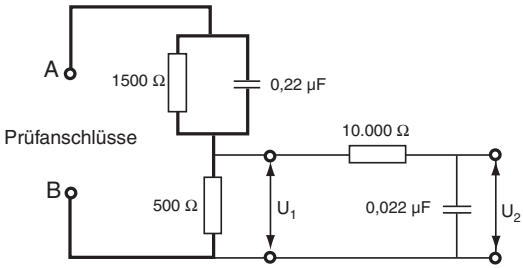


Bild 3.7 Zukünftiger Messaufbau nach EN 60990

Regler	Regler EIN (Standby) Motor AUS	Regler EIN Motor EIN
	[mA]	[mA]
CDx32.004	3,6	3
CDx32.006	3,1	8,1
CDx32.008	3,1	8,1

Tabelle 3.9 Typischer Ableitstrom von 1-phasigen Antriebsreglern mit internem Netzfilter

Regler	Regler EIN (Standby) Motor AUS	Regler EIN Motor EIN
	[mA]	[mA]
CDx34.003	1,4	4,4
CDx34.005	1,4	4,4
CDx34.008	1	3
CDx34.010	1	3
CDx34.014	1	6
CDx34.017	1	6
CDx34.024[1)]	0,8	16,4
CDx34.032[1)]	0,8	16,4
CDx34.044	11	12
CDx34.058	11	12
CDx34.070	11	12
1) ohne internen Netzfilter		

Tabelle 3.10 Typischer Ableitstrom von 3-phasigen Antriebsreglern mit internem Netzfilter

3.2.9 Schalten im Netzeingang

Der Netzanschluss der Antriebsregler CDx3000 muss über einen externen Netztrenner (z. B. Leistungsschalter, Schütz (AC3), u.s.w.) erfolgen.

Der Netztrenner muss der EN 60204-1 genügen oder der örtlichen Sicherheitsvorschrift entsprechen.

Der Netztrenner darf nicht zum Steuern (Tippbetrieb) des Antriebsreglers verwendet werden, hierzu stehen umfangreiche Steuerfunktionalitäten zur Verfügung.

Der Antriebsregler darf alle 60 (120) s[1)] ans Netz gelegt werden.
Ein zu häufiges Netzzuschalten führt nicht zur Zerstörung des Eingangskreises am Antriebsregler. Der Antriebsregler schützt sich selbst durch hochohmige Abkopplung des Antriebsreglers vom Netz. Dieses ist durch eine spezielle PTC-Vorladetechnik möglich.

1) CDA3000 alle 60 s
CDD3000 alle 120 s
CDB3000 (3 bis 32 A) alle 60 s
CDE3000 (3 bis 32 A) alle 120 s
CDE/CDB3000 (44 bis 72 A) alle 30 s

3.2.10 Hochspannungstest/Isolationsprüfung

Jeder ausgelieferte Antriebsregler wird mittels eines Hochspannungstests auf Isolationsfestigkeit zwischen Hauptstromkreis und Gehäuse bzw. Masse geprüft (2150 VDC für 1 s). Es besteht deshalb keine Notwendigkeit, die Isolationsfestigkeit der Module zu kontrollieren.

Soll trotzdem die Isolationsfestigkeit getestet werden, dann ist nachfolgender Ablauf einzuhalten:

1. Der Hochspannungstest muss vor Anschluss des Antriebsreglers durchgeführt werden.
2. Die Eingänge und Ausgänge U, V, W, +, -, RB, L1, L2 und L3 müssen kurzgeschlossen werden.
3. Alle Steuerein- und -ausgänge müssen mit PE verbunden werden.
4. Der Hochspannungstest wird durch Anlegen von maximal 2150 VDC für 1 s durchgeführt. Die Spannung wird zwischen der Kurzschlussbrücke Punkt 2. und der Kurzschlussbrücke Punkt 3. angelegt.

3.2.11 Formieren der Zwischenkreis-kondensatoren

Alle U-Antriebsregler besitzen einen Eingangsgleichrichter, über den die 50/60 Hz-Wechsel- oder Drehspannung gleichgerichtet wird. Die gleichgerichtete Spannung wird in den sogenannten **Zwischenkreiskondensatoren** gespeichert. Der motorseitige Wechselrichter im Ausgangskreis des Antriebsreglers formt die Zwischenkreis-Gleichspannung in ein neues Drehspannungssystem mit variabler Frequenz (f) und Spannung (u) um.

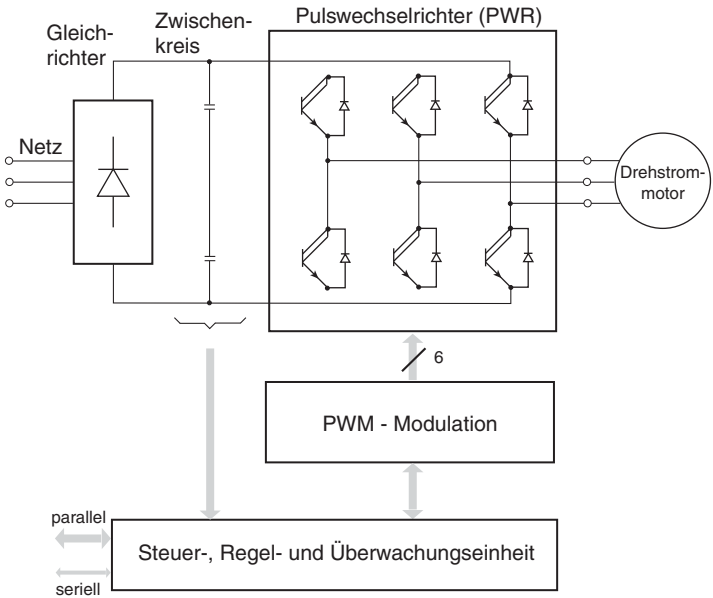


Bild 3.8 Blockschaltbild eines U-Umformers

Formieren der Zwischenkreiskondensatoren (ELKOS)[1)]

Zum Formieren der Zwischenkreiskondensatoren müssen die Antriebsregler in 400/460 V-Technik (CDA34.xxx) ca. alle 6 Monate für 1 Stunde ans Netz gelegt werden. Die Zeit ist abhängig von der Lagertemperatur. So müssen Antriebsregler, die bei < 40 °C gelagert werden, nur ca. alle 12 Monate ans Netz gelegt werden.

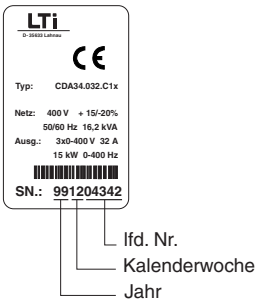


Bild 3.9 Typenschild Antriebsregler mit Jahres und Monatsangabe

Nach einer Standzeit der Antriebsregler von mehr als 12 Monaten (< 40 °C Lagertemperatur) nach Auslieferung (siehe Typenschild), müssen die Zwischenkreiskondensatoren neu formiert werden. Dieses kann vermieden werden, wenn die Antriebsregler ca. alle 6-12 Monate für eine Stunde ans Netz gelegt werden.

CDE/CDB:

Antriebsregler CDE/CDB3000 ab 22 kW sind mit MKP[2)]-Kondensatoren ausgestattet, welche nicht „formiert“ werden müssen.

1) Elektrolytkondensatoren

2) Metallkunststoffpropylen-Kondensatoren

Helpline

Unsere Helpline kann Ihnen schnell und zielgerichtet helfen, falls Sie technische Fragen zur Projektierung oder Inbetriebnahme des Antriebsreglers haben. Stellen Sie dazu bitte bereits vor der Kontaktaufnahme folgende Informationen zusammen:

1. Artikelbezeichnung, Seriennummer und Software-Version des Gerätes (siehe Typenschild Software)
2. verwendete DriveManager-Version (Menü - Hilfe - Information - Version)
3. angezeigter Fehlercode (entsprechend 7-Segmentanzeige oder DriveManager)
4. Beschreibung des Fehlerbildes, der Entstehung und Rahmenbedingungen
5. Geräteeinstellungen im DriveManager in Datei speichern
6. Name der Firma und des Ansprechpartners, Telefonnummer und E-Mailadresse

Die Helpline ist per Telefon, E-Mail oder Internet erreichbar:

Servicezeit: Montag bis Freitag jeweils von 8.00 bis 17.00 Uhr (MEZ)
Telefon: +49 6441 966-180
E-Mail: helpline@lt-i.com
Internet: http://drives.lt-i.com - Support & Service - Trouble Ticket

Suchen Sie weitere Unterst¸tzung im Servicefall, helfen wir - die Spezialisten vom Support & Service-Center - Ihnen gerne weiter.

Servicezeit: Montag bis Freitag jeweils von 8.00 bis 17.00 Uhr (MEZ)
Telefon: +49 6441 966-888
E-Mail: service@lt-i.com

Hinweis: Falls Sie darüber hinaus Beratungsbedarf haben, finden Sie alle angebotenen Dienstleistungen im Bestellkatalog „Support & Service“. Den Bestellkatalog können Sie auf unserer Internetseite http://drives.lt-i.com unter der gleichnamigen Rubrik herunterladen.

3.2.12 Drehsinn und Anschlussbezeichnung

Der Drehsinn wird in Bezug auf die Antriebsseite angegeben.

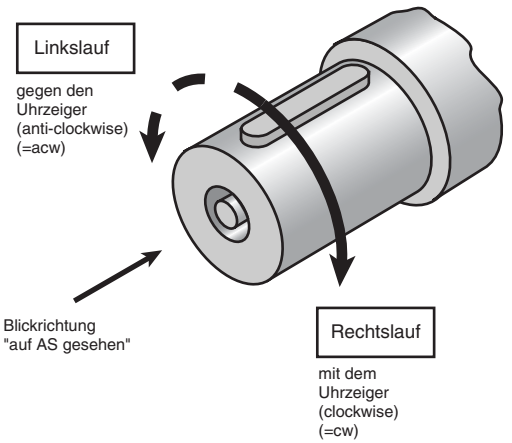


Bild 3.10 Drehsinn

Die Anschlussstellen sind so bezeichnet, dass die alphabetische Reihenfolge der Klemmenbezeichnung (Antriebsregler U, V, W - Motor U1, V1, W1) der zeitlichen Phasenfolge der Netzspannung (L1, L2, L3) bei Rechtslauf entspricht.

Rechtslauf[1)]	**Klemmen**		
Antriebsregler CDx3000	U	V	W
Motor	U1	V1	W1
Linkslauf[2)]	**Klemmen**		
Antriebsregler CDx3000	V	U	W
Motor	U1	V1	W1
1) Steuersignal „Rechtslauf“ 2) Steuersignal „Linkslauf“			

Tabelle 3.11 Rechts-, Linkslauf

3.2.13 Schalten im Antriebsregler-ausgang

Der am Antriebsregler[1)] (CDA3000) angeschlossene Motor darf über Schütz oder Motorschutzschalter weggeschaltet werden. Die Beschädigung des Antriebsreglers CDA3000 durch Abschalten des Motors ist nicht möglich.

Beim Abschalten von Motorlasten entstehen sehr hohe Schaltüberspannungen, da die Induktivität des Motors keine sprungförmige Stromänderung zulässt. Diese Schaltüberspannungen können je nach Antriebskonstellation auch zu Störabschaltungen bzw. Störmeldungen durch den Antriebsregler führen. In diesem Fall muss eine Motordrossel eingesetzt werden.

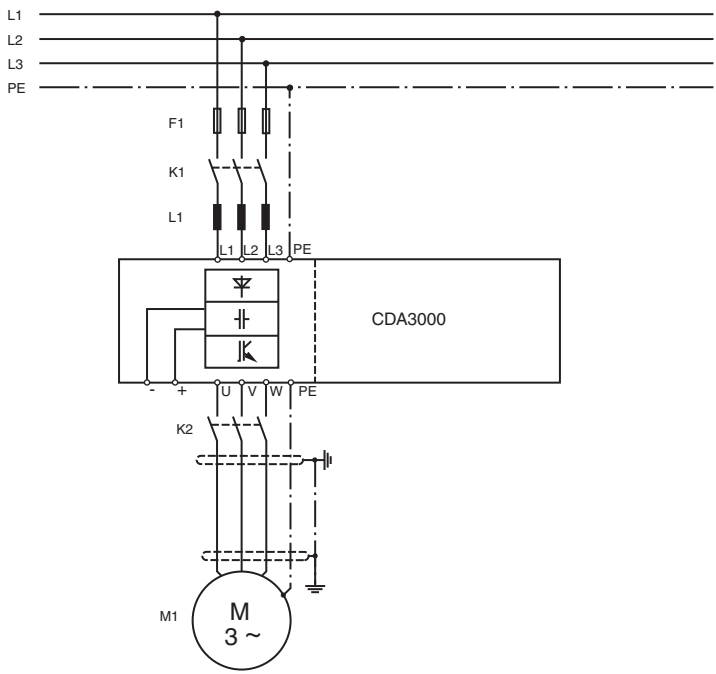


Bild 3.11 Schaltungsbeispiel „Schalten am Antriebsreglerausgang“

1) Antriebsregler ohne Geberrückführung

Mehrmotorenbetrieb: An einem Antriebsregler (u/f-Betrieb) ohne Geberrückführung können mehrere Motoren parallel betrieben werden. In diesem Anwendungsfall müssen Motoren nicht nur abgeschaltet, sondern auch zugeschaltet werden. Welche Betriebsbedingungen in solchen Fällen zu beachten sind, können Sie Kapitel 3.4.7 entnehmen.

Das Zuschalten von erregten Motoren oder das direkte Umschalten der Polzahl bei polumschaltbaren Motoren sowie Drehrichtungsumkehr des Motors über z. B. Wendeschütz, ist während des Betriebs nicht zulässig.

AC-3 Schütz: Bei Verwendung von Schützen der Gebrauchskategorie AC-3 (entsprechend IEC 947-4-1, EN 60947 oder VDE 0660 Teil 102) ist zu beachten, dass die Anzahl der Betätigungen nicht über fünf je Minute und zehn je zehn Minuten hinausgehen darf. Bei höherer Betätigungshäufigkeit sind entsprechend andere Schaltelemente zu wählen.
< 10 Hz liegt quasi Gleichstrom vor, wodurch das AC-3 Schütz ebenfalls überlastet werden kann.

Anschlussbeispiel für stromloses Schalten

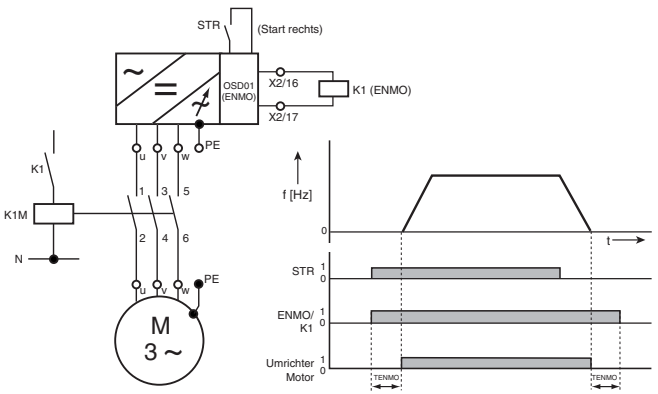


Bild 3.12 Anschlussbeispiel für ENMO. Auf die Darstellung des Schirmanschlusses wurde verzichtet.

Wirkungsweise

Start der Regelung: Hilfsschütz K1 wird aktiv mit Start der Regelung. Die Ausgangsfrequenz (Ausgangsspannung) des Umrichters läuft, um die in Parameter 247-TENMO eingestellte Zeit, verzögert an. Somit ist sichergestellt, dass das Motorschütz geschlossen ist, bevor die Ausgangsfrequenz (Ausgangsspannung) des Umrichters hochläuft.

Stopp der Regelung: Bei Wegnahme von „Start der Regelung“ fällt das Hilfsschütz K1, um die in Parameter 247-TENMO eingestellte Zeit, verzögert ab. Somit ist sichergestellt, dass das Motorschütz erst öffnet, wenn die Endstufe des Umrichters stromlos ist.

3.2.14 Kurz- und Erdschlussfestigkeit

Die Antriebsregler der Baureihe c-line DRIVES sind mit je einem Stromsensor pro Motorphase ausgestattet. Bei Kurzschluss oder Erdschluss in der Motorleitung wird die Endstufe gesperrt und eine entsprechende Störmeldung abgesetzt.

Die Antriebsregler CDx3000 sind im Betrieb kurz- und erdschlussfest.

3.2.15 Motorkabellänge, Strom- und Spannungsverluste

Projektierungshinweise zum Thema: Motorkabellänge und Strom-, Spannungsverluste

<table>
<tr><th>Thema</th><th>Projektierungshinweise</th></tr>
<tr><td>Nennstrombelastbarkeit der Antriebsregler</td><td>Die Nennstrombelastbarkeit ist in der jeweiligen Betriebsanleitung angegeben. Die Angabe bezieht sich auf den Strom, welcher am Ende eines 10 m langen Motorkabels zur Verfügung steht. Bei Motorkabeln, die länger sind, müssen die Stromverluste[1)] pro m in die Projektierung mit einbezogen werden. Diese sind typisch:
<table>
<tr><th>Taktfrequenz</th><th>Netzspannung 1 x 230 V [mA pro m]</th><th>Netzspannung 1 x 400 V [mA pro m]</th><th>Netzspannung 1 x 460 V [mA pro m]</th></tr>
<tr><td>4</td><td>15</td><td>20</td><td>20</td></tr>
<tr><td>8</td><td>20</td><td>40</td><td>55</td></tr>
<tr><td>16</td><td>35</td><td>80</td><td>100</td></tr>
</table>
1) Stromverluste: Es handelt sich dabei um Schaltverluste im Wechselrichter, welche durch die kapazitären Ableitströme im Motorkabel entstehen.</td></tr>
<tr><td>Spannungsverluste auf der Motorleitung</td><td>$\Delta_U = \frac{1{,}6^{1)} \cdot l \cdot I}{56 \frac{m}{\Omega \cdot mm^2} \cdot A}$
Mehrmotorenbetrieb:
Die Summe der gesamten Motorkabel ergibt sich aus der Addition der Einzellängen pro Motor.
l = Länge der Motorleitung in [m]
I = Strom in [A]
A = Leitungsquerschnitt
1) typischer Faktor für Betrieb mit Antriebsregler (1,73 x 0,9)</td></tr>
</table>

Tabelle 3.12 Projektierungshinweise

<table>
<tr><th>Thema</th><th>Projektierungshinweise</th></tr>
<tr><td>Spannungsverluste an Komponenten</td><td>
<table>
<tr><th>Komponente</th><th>Spannungsverluste</th></tr>
<tr><td>Netzdrossel mit 4 % U_K</td><td>≈ 1 %</td></tr>
<tr><td>Netzfilter[2)]</td><td>< 0,1 %</td></tr>
<tr><td>Antriebsregler[1)]</td><td>≈ 4 %</td></tr>
<tr><td>Motordrosseln[2)]</td><td>≈ 3 - 5 % (bei 50 Hz ca. 2 %)</td></tr>
<tr><td>Motorfilter[2)] (Sinusfilter)</td><td>≈ 4 - 8 % (bei 50 Hz ca. 3 %)
Der Spannungsverlust wird teilweise durch einen verbesserten cosφ kompensiert, siehe Kapitel 4.5.</td></tr>
</table>
1) Bei den Antriebsreglern CDE/CDB3000, ab der Leistungsstufe 22 kW, ist auf Grund des schmalen Zwischenkreiskonzeptes mit Spannungsverlusten bis zu 10 % zu rechnen.
2) Maximal zulässige Motorkabellänge bei Verwendung von Netzfilter, Motordrossel und Motorfilter (Sinusfilter) beachten.
</td></tr>
<tr><td>EMV-Produktnorm EN 61800-3</td><td>Die max. zulässige Motorkabellänge ist abhängig von verwendeten Netzfiltern (intern/extern) und der Umgebung (Wohnbereich/Industriebereich), in welcher der Antriebsregler eingesetzt wird. Mit Standard c-line DRIVES Antriebsreglern sind Lösungen bis 150 m Motorkabellänge möglich. Weitere Details finden Sie in dem Benutzerhandbuch zu Ihrem Antriebsregler und in Kapitel 5.5.</td></tr>
<tr><td>Motordrossel</td><td>Die max. zulässige Motorkabellänge beträgt je nach Motordrosseltyp 30/50 m. Weitere Projektierungshinweise finden Sie in Kapitel 4.4.</td></tr>
<tr><td>Motorfilter (Sinusfilter)</td><td>Die max. zulässige Motorkabellänge beträgt je nach Motorfilter 250 m. Weitere Projektierungshinweise finden Sie in Kapitel 4.5.
Motorfilter dürfen nicht in Antriebssystemen mit der Motorregelungsart SFC[1)] oder FOR[2)] eingesetzt werden.
1) SFC (sensorlose Drehzahlregelung)
2) FOR (feldorientierte Regelung mit Geberrückführung)</td></tr>
</table>

Tabelle 3.12 Projektierungshinweise

<table>
<tr><th>Thema</th><th>Projektierungshinweise</th></tr>
<tr><td>Drehgeber am Motor</td><td>Die max. zulässige Motorlänge wird bei FOR-geregelten Antrieben maßgeblich durch die zulässige Länge des Drehgeberkabels bestimmt. Mit Standard c-line DRIVES Antriebsreglern sind Antriebslösungen bis 100 m Geber-, Motorkabellängen möglich. Weitere Projektierungshinweise können Sie dem Kapitel 2.4 entnehmen.

<table>
<tr><th>FOR geregelte Antriebslösung mit ...</th><th>typische Geber-, Motorkabellänge</th></tr>
<tr><td>CDA3000</td><td>30 m</td></tr>
<tr><td>CDD3000</td><td>50 m</td></tr>
<tr><td>CDE/CDB3000</td><td>50/100 m 1)</td></tr>
</table>
1) Genaue Angaben entnehmen Sie bitte der jeweiligen Benutzerdokumentation.</td></tr>
<tr><td>Montagehöhe</td><td>Stammdaten der Antriebsregler gelten bis 1000 m über N. N. Mit Leistungsreduzierung von 1% pro 100 m ist eine max. Montagehöhe von 2000 m über N. N. zulässig.</td></tr>
</table>

Tabelle 3.12 Projektierungshinweise

Antriebsauslegung: Bei der Auslegung einer Antriebslösung sind die zuvor genannten Bedingungen zu beachten. Zusätzlich kann die Forderung bestehen, dass die Antriebslösung auch bei 10 % Unterspannung noch störungsfrei arbeiten muss. Bitte nehmen Sie eine entsprechende Überdimensionierung vor, da sonst bei bestimmten Betriebszuständen das gewünschte Moment bzw. die gewünschte Drehzahl nicht erreicht werden.

3.2.16 Spannungsbelastung der Motorwicklung

Beim Betrieb eines DS-Normmotors an einem Antriebsregler wird die Wicklungsisolation höher belastet als an einem sinusförmigen Netz. Ursache sind die periodischen Schaltvorgänge durch den Antriebsregler, die zu hohen Spannungssteilheiten (du/dt) und Spannungsspitzen (U_{peak}) an der Motorwicklung führen. Diese erhöhte Spannungsbelastung der Motorwicklung kann die Lebensdauer der Motoren verkürzen, siehe Forschungsbericht des ZVEI (Literatur und Quellenverzeichnis).

Praxis im Markt

Technologie	du/dt typisch	Probleme mit IEC Normmotor[1)]	Sondermotoren[2)]
Antriebsreglertechnologie mit Standardtransistoren (seit über 15 Jahren im Markt)	3-6 kV/µs	nicht bekannt	Einzelfälle bekannt
Antriebsreglertechnologie mit IGBTs	10-20 kV/µs	Einzelfälle bekannt	Einzelfälle bekannt
Antriebsreglertechnologie mit IGBTs und du/dt Begrenzung auf etwa 6 kV/µs	3-6 kV/µs	nicht bekannt	Einzelfälle bekannt
Antriebsreglertechnologie mit IGBTs und du/dt Motordrossel	< 1 kV/µs	nicht bekannt	nicht bekannt

1) mit vakuumgetränkter Wicklungsisolierung (ohne Luftblasen) und isolierten Wickelköpfen
2) ohne vakuumgetränkter Wicklungsisolierung (mit Luftblasen) und ohne isolierte Wickelköpfe

Tabelle 3.13 Praktische Erfahrung mit du/dt-Spannungsbelastung

Die Spannungssteilheit der c-line DRIVES Antriebsregler beträgt typischerweise 2-6 kV/µs. Für Anwendungen mit Sondermotoren stellen wir ein umfangreiches Motordrossel- und Motorfilterprogramm zur Verfügung.

Aus unserer Erfahrung gibt es mit Standard-IEC-Normmotoren, deren Wicklung vakuumgetränkt und deren Wickelköpfe isoliert sind, keine Probleme. Maßgebend für den Einzelfall sind jedoch die Angaben des Motorherstellers!

3.2.17 Motorschutz-möglichkeiten

Nachfolgend sind häufig vorkommende Überlastungsarten und die Schutzmöglichkeiten verschiedener Einrichtungen (Motorschutzschalter, Thermistor-Schutzrelais, Antriebsreglerfunktionen) zusammengestellt.

Motorschutzmöglichkeiten

	A	B	C	D	C+D
Überlastart	**Motorschutzschalter (z. B. PKZM)[1)]**	**Thermistorschutzrelais**	**Motor-PTC Überwachung des Antriebsreglers**	**Softwarefunktion Motorschutz des Antriebsreglers**	**Motor-PTC Überwachung und Motorschutz des Antriebsreglers**
Überlast im Dauerbetrieb [2)]	●	●	●	●	●
Schweranlauf [3)]	●	◐ [4)]	◐ [4)]	●	●
Blockierung [2)]	●	●	●	●	●
Blockierung [3)]	●	◐ [4)]	◐ [4)]	●	●
Umgebungstemperatur > 50 °C [2)]	○	●	●	○	●
Behinderung der Kühlung [2)]	○	●	●	○	●
Antriebsreglerbetrieb < 50 Hz	○	●	●	◐ [5)]	●

○ Kein Schutz ◐ Bedingter Schutz ● Voller Schutz

1) Betrieb in der Motorleitung zwischen Antriebsregler und Motor zulässig
2) Antriebsregler und Motor haben die gleiche Leistungsgröße (1:1)
3) Antriebsregler ist mindestens viermal größer als der Motor (4:1)
4) Wirksam bei warmem Motor, zu lange Reaktion bei kaltem Motor
5) Kein Vollschutz, da nur der zulässige Strom zugrunde gelegt wird

Tabelle 3.14 Motorschutzmöglichkeiten

Fazit

Aus Sicht des „Motorschutzes“ entfällt die Verwendung von zusätzlichen Motorschutzschaltern oder Thermistorschutzrelais. Alle benötigten Schutzfunktionen stellt der Antriebsregler standardmäßig zur Verfügung.

3.2.18 Lagerbeanspruchung bei Antriebsreglerbetrieb

Das Thema Lagerbeanspruchung bzw. Lagerströme ist schon so alt, wie der Elektromotor selbst. Unsymmetrien im Aufbau (Magnetfeld) des Motors haben, auch bei sinusförmiger Netzspannung, zu Spannungen am Lager und der Motorwelle geführt. Dieses Phänomen wird durch die antriebsreglerbedingten Lagerströme etwas verstärkt.

Weiteres zu diesem Thema können Sie dem Abschlussbericht:

„Elektrische Lagerbeanspruchung bei antriebsreglergespeisten Maschinen“

entnehmen. Der Bericht wurde im Rahmen des Forschungsprojektes des ZVEI/AiF an der „Technischen Universität Darmstadt“ erstellt.

Vermeiden von Lagerströmen

Um das Auftreten von Lagerströmen so weit wie möglich zu verhindern, müssen korrekte EMV-gerechte Erdungswege geschaffen werden, damit hochfrequente Streuströme in den Antriebsregler zurückfinden können ohne die Motorlager zu passieren.

Maßnahmen zur Vermeidung von Lagerströmen

➢ Fachgerechte Isolation der Motorlager unterbricht den Pfad der Lagerströme
  – Beispiel: Stromisolierte Wälzlager (INSOCOAT LAGER-SKF) einsetzen. Es handelt sich um Motorlager, welche mit einer elektrischen Isolationsschicht am Außenring oder Innenring versehen sind.

Maßnahmen zur Reduzierung von Lagerströmen

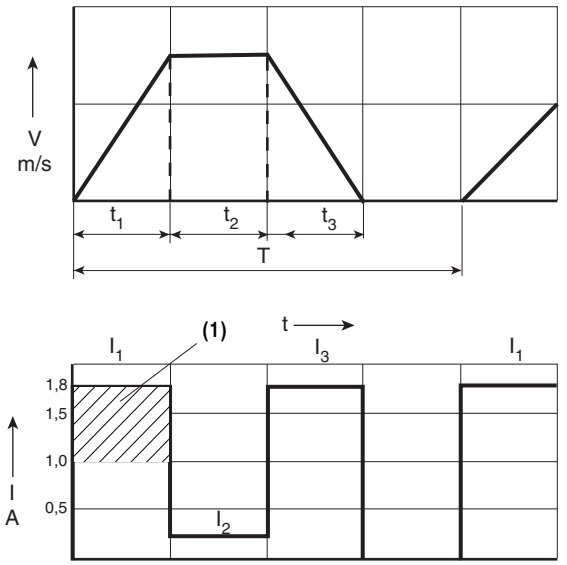
➢ Einsatz von hochwertigen Lagern mit guter Oberflächenqualität.

➢ EMV-gerechte Erdungswege schaffen.
  – geschirmte Motorkabel
  – durchgängiger Schirm
  – 360° - Schirmkontaktierung
  – hochfrequente Erdverbindung
  – HF-Potenzialausgleichsband bzw. Erd- Ausgleichsverbindung

➢ Einsatz von Motorfilter (Sinusfilter) zur Glättung der hochfrequenten Gleichtaktspannung (Commen-Mode-Spannung) und damit Reduzierung der Lagerströme. Zusätzlich wird das du/dt reduziert und die Ableitströme halbiert.

3.2.19 Berechnung der effektiven Antriebsregler-auslastung

Berechnung der effektiven Antriebsreglerauslastung



(1) Überlastimpuls

Bild 3.13 Effektive Antriebsreglerauslastung

Berechnen des effektiven Antriebsreglerstroms

1.

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + I_3^2 \cdot t_3}{T}}$$

Überprüfen, ob $I_{eff} < I_{N\ Regler}$ ist

2.

Der Antriebsregler wird bestimmt mit $I_{eff} \leq 0{,}95 \times I_N$ des gewählten Antriebsreglers. Bitte beachten Sie, dass für die Alterung einer Antriebslösung (Maschine/Anlage) mindestens 5 % Stromreserve vorgehalten werden sollte.

3.

Überprüfen, ob der max. zulässige Überlastimpuls nicht überschritten wird, da sonst der Antriebsregler wegen Überlast abschaltet.

$$\left[I_{Last}^{2} - I_{N\ Regler}^{2}\right] \times t_{Lastimpuls}$$

Für Regler CDx 0,37 kW bis 15 kW gilt:
$[1{,}8^2 - 1^2] \times 30\ s \leq 67{,}2\ A^2s$

Für Regler CDA/CDD/CDB 22 kW bis 90 kW gilt:
$[1{,}5^2 - 1^2] \times 60\ s \leq 75\ A^2s$

Für Regler CDE 22 kW bis 90 kW gilt:
$[2^2 - 1^2] \times 30\ s \leq 90\ A^2s$

Bitte beachten Sie, dass der Nennstrom (I_N) von der gewählten Endstufentaktfrequenz abhängt.

3.2.20 Messen am Antriebsregler

Das Messen am Antriebsregler ist **nicht** notwendig, da der Antriebsregler alle benötigten Istwerte zur Verfügung stellt. Es stehen Istwerte wie:

- Motorfrequenz
- Motordrehzahl/-drehmoment
- Motorscheinstrom
- Motorwirkstrom
- Motorscheinleistung
- Motorwirkleistung
- Motorspannung
- Zwischenkreisspannung
- Motortemperatur
- Kühlkörpertemperatur
- Geräteinnenraumtemperatur
- usw.

zur Verfügung. Die Istwerte können über die Bedieneinheit KP200/300 oder die Bediensoftware DRIVEMANAGER (mit Digital-Scope-Funktion) abgerufen werden.

Soll trotzdem am Antriebsregler gemessen werden, dann sind nachfolgend aufgezeigte Bedingungen zu beachten.

Messen am Antriebsregler

Wegen der nicht-sinusförmigen Größen am Eingang und Ausgang des Antriebsreglers sind nur Messungen mit speziellen Messgeräten zulässig. Da diese Geräte dem Praktiker vor Ort meist nicht zur Verfügung stehen, kann man sich mit herkömmlichen Messgeräten behelfen. Eine Messschaltung mit Geräteangaben zeigt nachfolgendes Bild 3.14. Man muss sich jedoch darüber im Klaren sein, dass die Messgeräteanzeigen, besonders am Antriebsreglerausgang, nur Anhaltswerte liefern.

Bei Benutzung eines Oszilloskops zur Darstellung der gepulsten Spannung ist mit Differenzeingängen zu messen.

Bei allen Messungen sollte daran gedacht werden, dass der Zwischenkreiskondensator beim U-Umformer noch geraume Zeit nach Abschaltung des Gerätes Spannung führen kann.

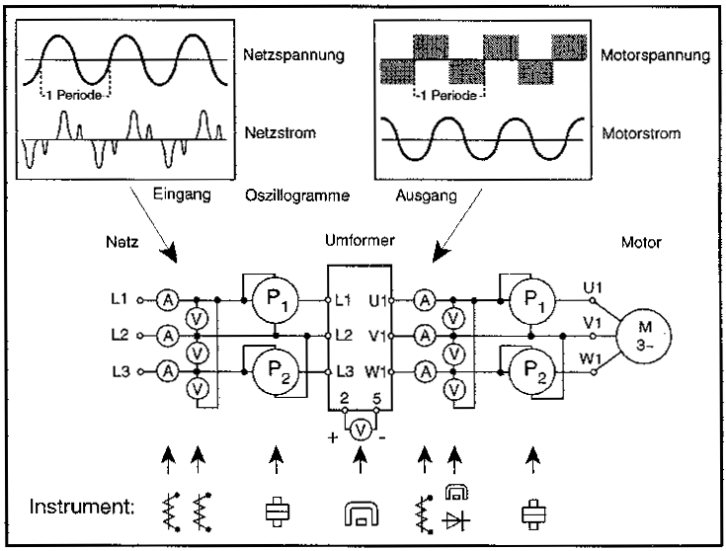


Bild 3.14 Messschaltung für einen U-Antriebsregler (Schaltungsvorschlag) mit Oszillogrammen (Prinzipbilder)

3.2.21 DC-Verbundbetrieb (ZK-Kopplung)

Der DC-Verbundbetrieb der c-line Antriebsregler ist nur zulässig, wenn eine schriftliche Freigabe der Firma LTi vorliegt.

Zur Erstellung einer solchen Freigabe benötigen wir folgende Angaben:

1. Welche Antriebsregler bzw. Fremdprodukte sollen im DC-Verbundbetrieb betrieben werden?
2. Beschreiben Sie den Anwendungsfall entsprechend der Fragen aus Kapitel 1.4, "Erfassen der Bewegungsaufgabe".
3. Wie lang sind voraussichtlich die Leitungsverbindungen zwischen den einzelnen DC-Zwischenkreisanschlüssen?

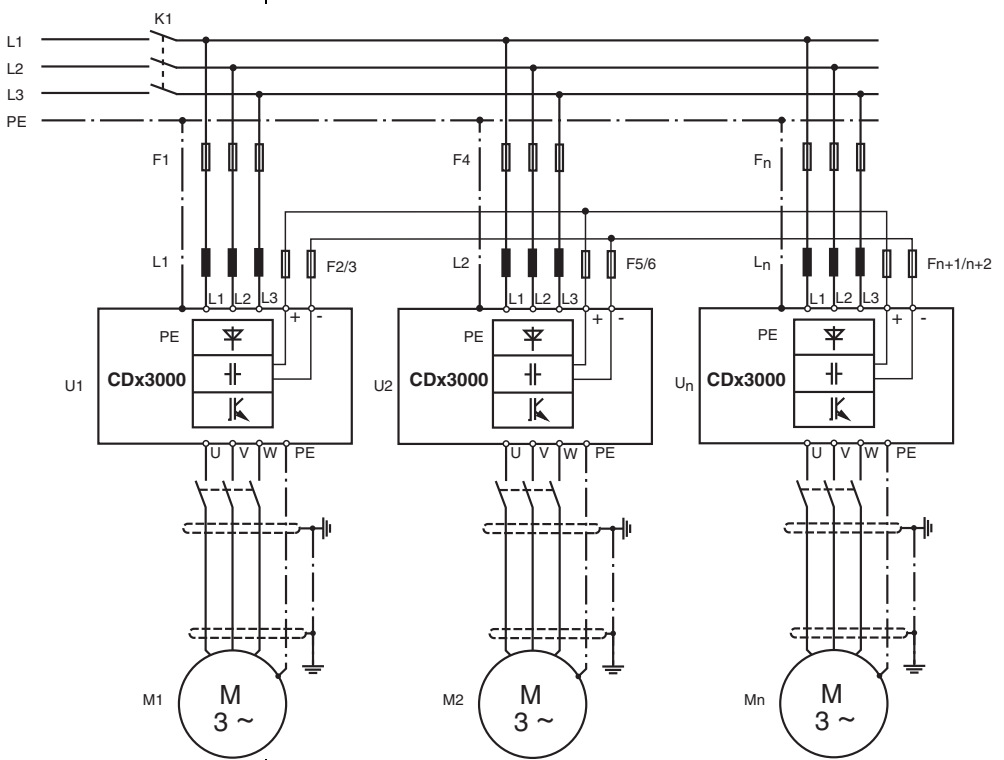


Bild 3.15 Schaltbeispiel DC-Verbundbetrieb mit c-line Antriebsreglern

3.2.22 Berechnung der Dauerbremsleistung von Antriebsreglern mit internem Bremswiderstand

Für die Antriebsreglerausführung mit internem Bremswiderstand (CDx3x.xxx,Wx.x,BR) ist im Datenblatt nur die Spitzenbremsleistung angegeben. Die Dauerbremsleistung muss berechnet werden. Sie ist abhängig von der im Anwendungsfall vorliegenden effektiven Auslastung des Antriebsreglers. Sinnvoll ist die Antriebsreglerausführung mit internem Bremswiderstand nur, wenn die effektive Antriebsreglerauslastung kleiner 80 % beträgt oder der Bremswiderstand für einmaliges Nothalt vorgesehen ist.

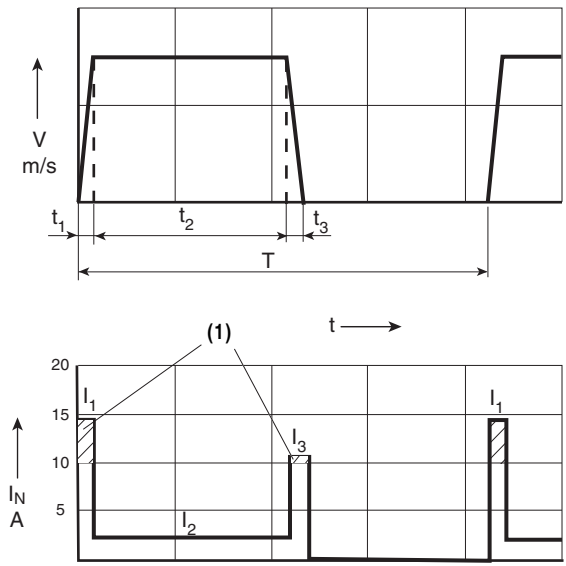
Berechnungsbeispiel:

Gesucht ist die Dauerbremsleistung des Antriebsreglers CDA34.008,Wx.x,**BR** mit internem Bremswiderstand

Anlagenbezogene Bedingungen:

Antriebsregler	CDA34.008Wx.x,BR
Nennstrom (I_N)	7,8 A
Verlustleistung des Antriebsregler (P_V) bei 8 kHz Schaltfrequenz der Endstufe	162 W
Belastungszyklus siehe	Bild 3.16

Berechnung der effektiven Antriebsreglerauslastung



(1) Überlastimpuls

Bild 3.16 Effektive Antriebsreglerauslastung

Berechnung der effektiven Antriebsreglerauslastung:

I_1 =14,04 A
I_2 = 2,34 A
I_3 = 10,92 A
t_1 = 0,19 s
t_2 = 2,0 s
t_3 = 0,19 s
T = 3,3 s

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{I_1^2 \cdot t_1 + I_2^2 \cdot t_2 + I_3^2 \cdot t_3}{T}}$$

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{14{,}04^2 \cdot 0{,}19 + 2{,}34^2 \cdot 2s + 10{,}92^2 \cdot 0{,}19\,s}{3{,}3\,s}} \approx 4{,}64\ A$$

Bitte beachten Sie bei Ihrer Berechnung den maximal zulässigen Strom und die Stromzeitfläche ($I^2 . t$).

$$\text{Auslastung des Gerätes (in \%)} = \frac{4{,}64\ A}{7{,}8\ A} \cdot 100\% \approx 60\ \%$$

Berechnung der zulässigen Dauerbremsleistung (P_{DBR}):

$$P_{DBR} = P_V \cdot (1 - \frac{I_{eff}}{I_N})$$
$$= 162\ W \cdot (1 - \frac{4{,}64\ A}{7{,}8\ A})$$
$$= 65{,}63\ W$$

Achtung: Bei Antriebsreglerauslastung von < 50 % beträgt die max. zulässige Dauerbremsleistung immer 50 % der Antriebsreglerverlustleistung.

3.3 c-line Feldbusse

3.3.1 Übersicht zu den Feldbussen

	PROFIBUS	CANopen	DeviceNet	Interbus	SERCOS II	SERCOS III	LON
Hersteller	Siemens, Pepperl+Fuchs, Klöckner-Möller, Schneider Automation u.a.	Chips: Intel, Philips, Semiconductors, Motorola, Siemens Systeme: I+ME, Softing, ESD, Bosch, Daimler Benz u.a. Application Layer: CiA (CAN in Automation)	/ Hardware wie CAN / Application Layer: ODVA (Open DeviceNet Vendor Association)	Phoenix Contact	Interessengemeinschaft Sercos Interface e.V.	Interessengemeinschaft Sercos Interface e.V.	LNO (LON Nutzer Organisation e.V.)
Topologie	Linie	Linie, (Stern)	Linie, (Stern)	Ring	Ring	Ring, Linie	Linie, Stern, Ring
Busleitungslänge	Cu: 100 m bei 12 Mbit/s 200 m bei 1,5 Mbit/s 400 m bei 500 kbit/s 1000 m bei 187,5 kbit/s 1200 bei < 93,5 kbit/s LWL: mehrere km	25 m bei 1 Mbit/s, 500 m bei 125 kbit/s, 5 km bei 10 kbit/s	100 m bei 500 kbit/s, 250 m bei 250 kbit/s, 500 m bei 125 kbit/s	400m max 13 km auf Cu Basis	Lichtwellenleiter pro Übertragungsabschnitt: 50 m Kunststoff LWL, 250 m Glasfaser	Fast Ethernet	130 m - 2700 m (Twisted Pair)
Übertragungsrate	9,6 kBit/s; 19,2 kBit/s; 93,75 kBit/s; 187,5 kBit/s; 500 kBit/s (FMS); 1,5 MBit/s (DP); 12 MBit/s (DP)	10 kbit/s, 20 kbit/s, 50 kbit/s, 125 kbit/s, 250 kbit/s, 500 kbit/s, 800 kbit/s, 1 Mbit/s	125 kbit/s, 250 kbit/s, 500 kbit/s	500 kbit/s konstant	2, 4, 8, 16 Mbit/s	100 Mbit/s	300 Bit/s - 1,25 Mbit/s
Zykluszeit	Je nach Übertragungsrate und Datenmenge	Je nach Übertragungsrate und Datenmenge	Je nach Übertragungsrate und Datenmenge	1 ms 1 E/A bis 7,8 ms bei 1096 E/A	62,5 µs, 125 µs, 250 µs bis zu 65 ms. Je nach Übertragungsrate und Datenmenge	31,25 µs bis 3 ms (abhängig von Teilnehmern und Datenmenge)	Je nach Übertragungsrate und Datenmenge

Tabelle 3.15 Übersicht Feldbusse

	PROFIBUS	CANopen	DeviceNet	Interbus	SERCOS II	SERCOS III	LON
Übertragungsmedium	Zweileiter Cu RS 485 Zweileiter CU mit Hilfsenergie (IEC1 158-2) Lichtwellenleiter	Zweileiter Cu, optisch	Zweileiter Cu, optisch	Twisted Pair, Glasfaser, Funk Infrarot	Lichtwellenleiter	Fast Ethernet (Kupferkabel)	Twisted Pair, Glasfaser, Funk, Infrarot
Anzahl Teilnehmer	32 pro Segment, 126 maximal (mit Repeater)	Abhängig vom Physical Layer, logisch auf 127 begrenzt	Logisch begrenzt auf 64 Teilnehmer	512 Teilnehmer, maximal 4096 E/A	je LWL-Ring 254	max. 254	max. 127 pro Sub net abh. vom Transceiver (max. 32.385 Knoten bei 255 Subnets)
Telegrammlänge	Nutzdaten + 9 Byte	130 Bit	130 Bit	256 Worte	-	-	max. 255 Bytes
Nutzdatenlänge	244 Byte	8 Byte	8 Byte		2, 4, 6, 8, 16 Byte	40 bis 1494 Byte	typisch 10- 16 Bytes

Tabelle 3.15 Übersicht Feldbusse

3.3.2 CAN-Grundlagen

Zusammenfassung der CAN-Eigenschaften

- Variable Übertragungsrate bis 1MBit/s
- Leitungslänge bis 1000 m bei reduzierter Übertragungsrate
- Selbst-synchronisierende Bitcodierung
- kurze Nachrichten (0-8 Byte)
  - kurze Übertragungszeit
  - garantierte Latenzzeit
- Multi-Master-Architektur
  - jeder Busteilnehmer hat Zugang zum Übertragungsmedium
  - bei gleichzeitigem Zugang erfolgt selbständige Auflösung
  - Broadcast Kommunikation
- Hohe Störsicherheit
- Mechanismen für Netzwerkmanagement und -konfiguration

CANopen Struktur

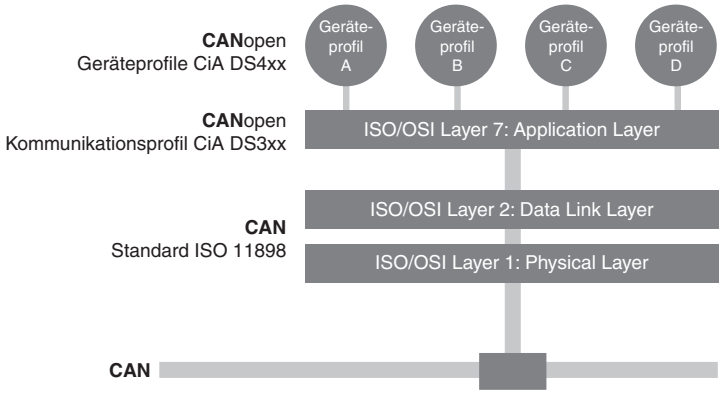


Bild 3.17 CANopen-Struktur

Wichtige CANopen-Kommunikations- und Geräteprofile

- **CiA DS 301 (V4.02)** - Definition der CANopen-Applikationsschicht, des Kommunikationsprofils und des Netzwerkmanagements für CANopen-Slaves, zertifiziert als EN-Norm EN 50325-4
- **CiA DR 303-1 (V1.3)** - Definiert die Art der Verkabelung und der Anschlusstechnik
- **CiA DS 306 (V1.3)** - Definiert das Format und den Inhalt des elektronischen Datenblattes „EDS“ für CANopen-Geräte
- **CiA DSP 402 (V2.0)** - Geräteprofil für Antriebe und Bewegungssteuerungen (Zustandsmaschine, Bewegungs-Modi)

Objektverzeichnis

- Schnittstelle zwischen Antriebsregler und CAN-Bus
- Basis für die Gerätebeschreibung – Zugriff auf alle Parameter
  - Mandatory (Pflicht) und optionale (zusätzliche) Objekte
- Das Objektverzeichnis ist aufgeteilt in verschiedene Gruppen
- Jedes Objekt wird mit einem 16 bit Index adressiert, bei Feldern zusätzlich mit einem 8 bit Sub-Index

Index	Description
0000h	reserved
0001h - 025Fh	Data Types
0260h - 0FFFh	reserved
1000h - 1FFFh	Communication object area
2000h - 5FFFh	Manufacturer specific area
6000h - 9FFFh	Device profile specific area
A000h - BFFFh	Interface profil specific area
C000h - FFFFh	reserved

Tabelle 3.16 Objektverzeichnis

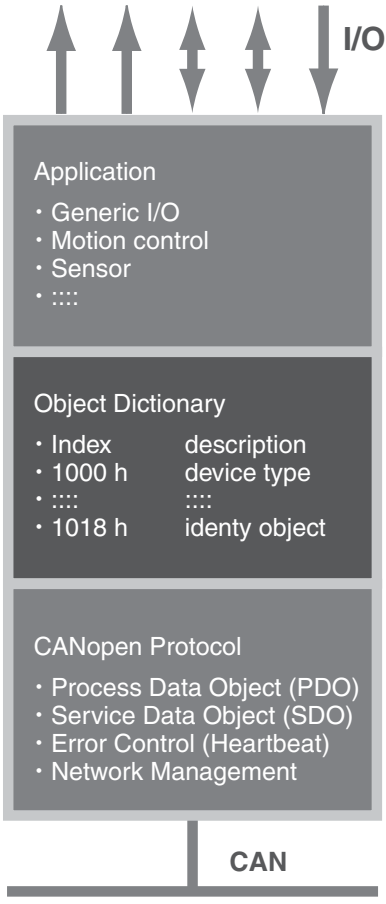


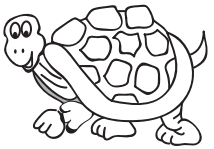
Bild 3.18 Objektverzeichnis als Schnittstelle zwischen Anwendung und CAN-Bus

Datenobjekte

PDO (Process Data Object)

- Echtzeitdaten
  - Antriebssteuerung
- Hochpriore eindeutige Identifier
- max. 8 Bytes (1 Telegramm)
- Inhalt konfigurierbar (Mapping)

SDO (Service Data Object)



- System-Parameter
  - Parameterhandling
  - Download Parametersatz
  - Zugriff auf alle Parameter
- Niederpriore Identifier
- Daten auf mehrere Telegramme verteilt
- Daten durch Index adressiert

Kommunikationsmodell

Das PDO (Process Data Object) ermöglicht einen beliebigen Datenaustausch von Modul zu Modul.

Das SDO (Service Data Object) ermöglicht einen Punkt zu Punkt Datenaustausch mit einem Konfigurationsmaster.

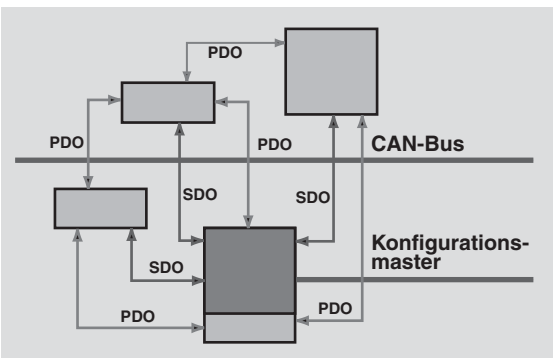


Bild 3.19 Kommunikationsmodell

Process Data Object (PDO)

- Verschiedene Übertragungen
  - Synchron - Nutzung des SYNC-Objectes (zyklisch und azyklisch bei Event im Antrieb)
  - Asynchron (ereignisgesteuert/zeitgesteuert)
- Zusätzlich verschiedene Triggermodi
  - Ereignis getriggert (z. B. SYNC oder Zustandsänderung)
  - Zeitgesteuert (im Antrieb)
  - Auf Anforderung (nicht von c-line-DRIVES unterstützt)

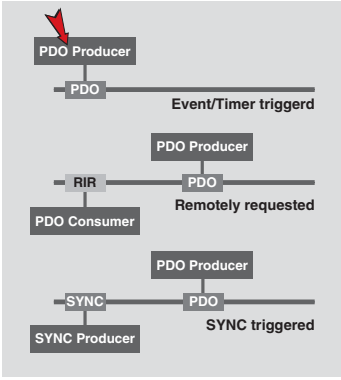


Bild 3.20 PDO Triggermodi

- PDO-Inhalt konfigurierbar (Mapping)
  - Einstellung über Konfigurationsparameter im Objektverzeichnis
  - Max. 8 byte

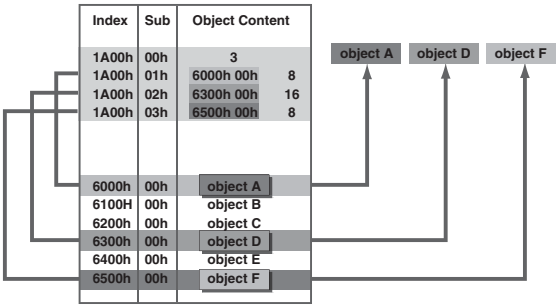


Bild 3.21 PDO-Mapping

Im Bild 3.21 ist das Mapping der Objekte 6000h, 6300h sowie 6500h in die TxPD01 dargestellt. Dazu werden im Objekt 1A00h die Inhalte der TxPD01 eingetragen.

Service Data Object (SDO)

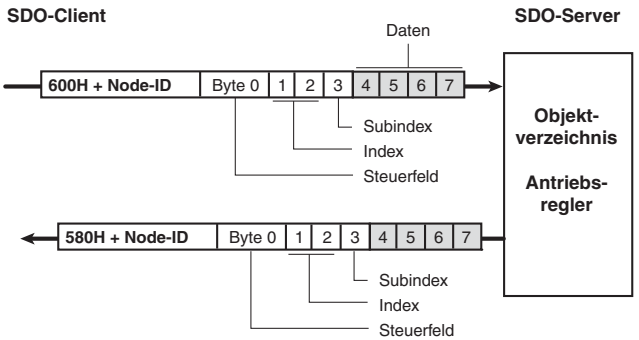


Bild 3.22 SDO

- Beispiel: Schreiben des Parameters 150-Save = 1

Schreiben	SDO-ID: 601 h	22	96	20	00	1	0	0	0
Antwort	SDO-ID: 581 h	60	96	20	0	0	0	0	0

Netzwerkmanagement (NMT)

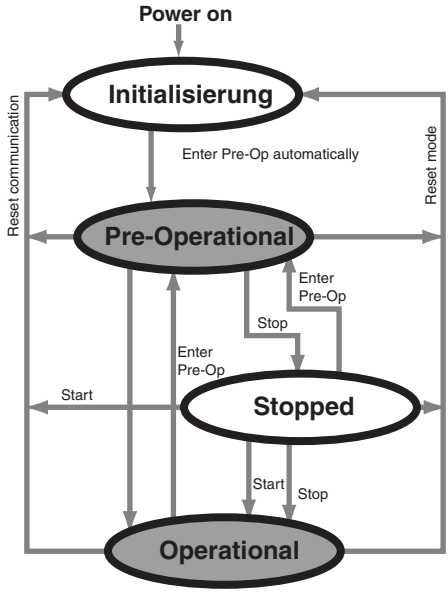


Bild 3.23 Netzwerkmanagement

- Zustandsmaschine des Bussystemes mit
  - Boot-Up-Sequenz
  - Steuerung durch Netzwerk-Master (nicht in c-line-DRIVES implementiert)
- Verschiedene Zustände
  - Pre-Operational
    SDO aktiv,
    Sync + Emergency möglich
  - Operational
    SDO + PDOs aktiv
    Sync + Emergency möglich
  - Stopped
    keine SDO, PDO und Sync,
    nur NMT-Messages (z. B. Heartbeat)
  - Statusübergänge
    CAN-Telegramm mit COB-ID 0
    und 2 Datenbytes:
    1. Byte: 1 (Start); 80H (Enter Pre-Op)
    2. Byte: Node-ID (0 = alle Knoten)

SYNC-Object

- Funktion zur synchronen Datenübernahme/-ausgabe in den Feldgeräten
- SYNC-Object wird vom Bus-Master als Broadcast-Telegramm an alle Feldgeräte gesendet
- Jitter durch höherpriore Identifier möglich

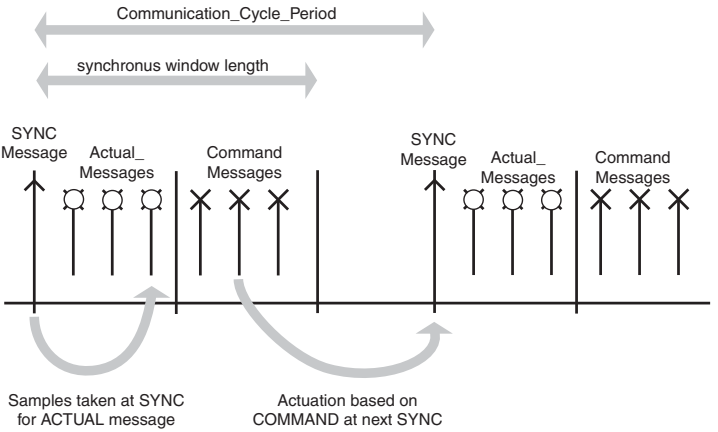
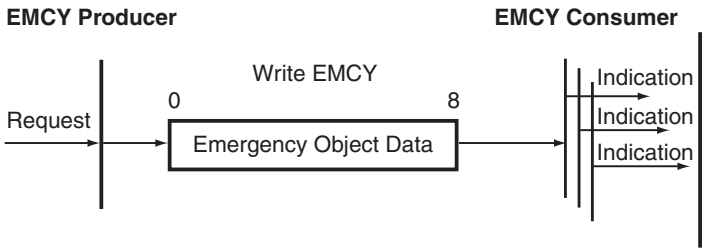


Bild 3.24 Synchronisation

Emergency Object

- Meldung eines Gerätefehlers durch den Verursacher
- Fehlercodes sind in der DS 301 / DSP 402 definiert
- Herstellerspezifische Fehlercodes möglich
- Fehlermeldung wird nur einmal übertragen, sofern der Fehler nicht wiederkehrt
- Mehrere Busteilnehmer können die Meldung empfangen und eine geeignete Reaktion ausführen
- Funktion ist „optional“



Heartbeat Protokoll

- Heartbeat ist ein Fehlerkontroll-Service
  - NMT-Funktion
  - Übertragung des Gerätezustands und die Präsenz des Gerätes
  - Überwachung, ob der Knoten korrekt arbeitet
- Heartbeat-Message wird zyklisch vom Erzeuger (producer) gesendet
  - Keine Remote-Frames (Anforderung) wie bei Node-Guarding erforderlich
  - Message kann von mehreren Empfängern (consumer) überwacht werden
  - Bei Aussetzen der Message wird ein Hearbeat Event erzeugt
- Keine Parallelverwendung mit Node-Guarding

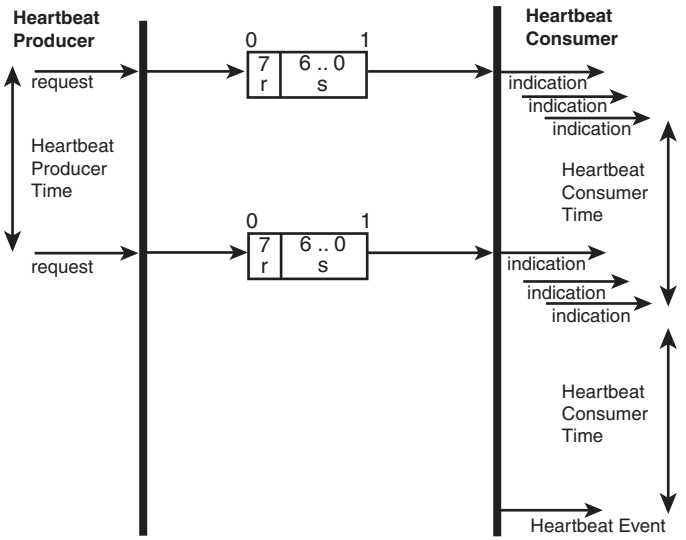


Bild 3.25 Heartbeat Protokoll

Verkabelung und Anschlusstechnik

Übertragungs-geschwindigkeit	Maximale Leitungslänge über das Gesamtnetz [1)]	
1000 kBaud	25 m	
800 kBaud	50 m	
500 KBaud	100 m	Werkseinstellung
250 kBaud [2)]	250 m	
125 kBaud [2)]	500 m	
50 kBaud [3)]	1000 m	
20 kBaud [3)]	2500 m	
10 kBaud [3)]	5000 m	

1) Rounded bus length estimation (worst case) on basis 5 ns/m propagation delay and a total effective device internal in-out delay as follows:
   1M-800 kbit/s: 210 ns
   500 - 250 kbit/s: 300 ns (includes 2 * 40 ns for optocouplers)
   125 kbit/s: 450 ns (includes 2 * 100 ns for optocouplers)
   50 -10 kbit/s: Effective delay = delay recessive to dominant plus dominant to recessive divided by two.
2) For bus length greater than about 200 m the use of optocouplers is recommended. If optocouplers are placed between CAN Controller and transceiver this affects the maximum bus length depending upon the propagation delay of the optocouplers i.e. -4m per 10 ns propagation delay of employed optocoupler type.
3) For bus length greater than about 1 km bridge or repeater devices may be needed.

Tabelle 3.17 Übertragungsgeschwindigkeiten

Die CiA Spezifikation DR303-1 enthält Empfehlungen zur Verkabelung und den verschiedenen Anschlussteckern.

Electronic data sheet specification

EDS – Electronic Data Sheet

- EDS-Datei enthält alle gerätespezifischen Daten und Parameter (Objektverzeichnis) bezüglich ihres Datentyps, des Wertebereichs und der Zugriffsattribute.
- Einrichtungstools für CANopen-Netzwerke nutzen diese Datei zur grafischen Visualisierung der einzelnen CANopen-Knoten.
- Liegt mit jeder Antriebsregler-Firmware im Internet ab.
- Erzeugung mit LUST-CANtool möglich.

DCF – Device Configuration File

- Beschreibung des konfigurierten Gerätes.
- Zusätzlich Angabe der Einstellung des Parameters (Objektes).

3.3.3 CANopen-Profile

Nachfolgend wird auf die CANopen-Profile eingegangen, welche in der Positionierreglerreihe CDE/CDB/CDF3000 zur Verfügung stehen. Dateispezifikationen zu den Profilen entnehmen Sie bitte dem aktuellen Benutzerhandbuch der Positionierregler.

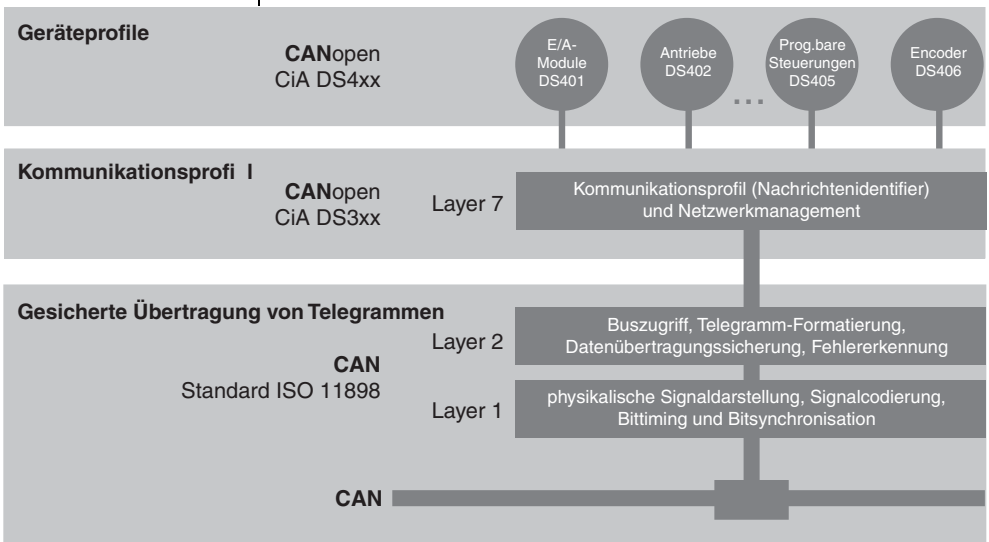


Bild 3.26 CANopen-Struktur

Geräteprofil DS402

Ziel des Profils ist es, eine gleichartige Beschreibung der über den CAN sichtbaren Funktionalität von Antrieben bereitzustellen.

Lehnt sich an das DRIVECOM-Profil 21 für Antriebe an und erleichtert damit Herstellern und Anwendern solcher Geräte die Nutzung eines bereits vertrauten Profils.

Auf Grund der Vielfalt von spezifischen Eigenschaften, mit denen die Hersteller von Antrieben ihre Geräte ausstatten, ist eine einheitliche Beschreibungsmethode erforderlich, welche es gestattet, auch die herstellerspezifischen Leistungsmerkmale darzustellen.

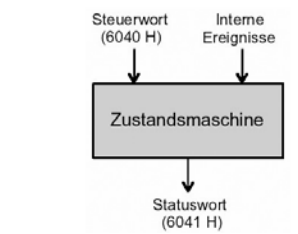
Zumindest für Standardaufgaben ist eine Austauschbarkeit von Geräten möglich.

Für die Hersteller von Antrieben bedeutet die Verfügbarkeit eines standardisierten Anwendungsprofils zumindest, dass nicht für jeden Kunden ein spezifisches Protokoll implementiert werden muss.

Das Geräteprofil DS402 beschreibt einen Antrieb in folgenden Teilbereichen:

- Allgemeine Motor- und Antriebsdaten
- Gerätesteuerung
  - Zustandsmaschine (Start Regelung, Schnellhalt)
  - Steuerung Betriebsmodus (z. B.: Geschwindigkeitsmodus)
- Spezifikation von Umrechnungsgrößen
  - Factorgroups
- Parameter und Steuerung in den einzelnen Betriebsarten
  - Homing Mode
  - Profile Velocity Mode
  - Profile Position Mode
  - Interpolated Position Mode

Geräteprofil DS402, Zustandsmaschine



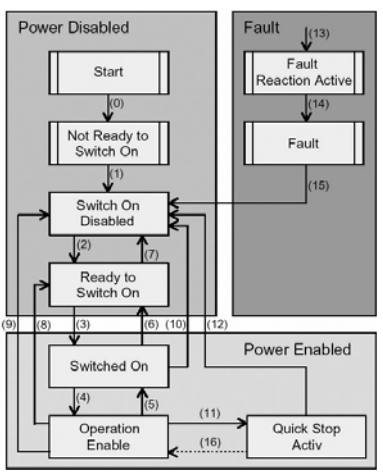


Bild 3.27 Geräteprofil DS402 Zustandsmaschine

Geräteprofil DS402 Steuer-/Statuswort

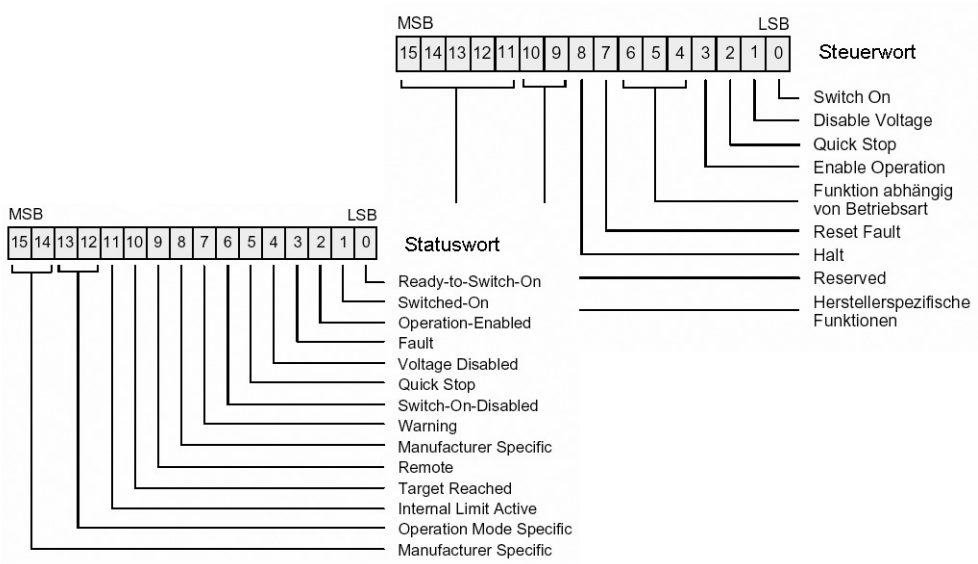


Bild 3.28 Steuer-/Statuswort

Geräteprofil DS402 Factorgroup

- Steuerung verwendet reale physikalische Einheiten (z. B.: mm)
- Die Faktorgruppe wandelt die SI-Einheiten in die internen Größen um.
- Die Konvertierung erfolgt durch Angabe der:
  - physikalischen Einheit
  - Dimension und Notation dieser Einheit
  - Beispiel: mm: = position_dimension_index =1
position_notation_index = -3
- Für Geschwindigkeit und Beschleunigung existieren äquivalente Faktoren,
- zusätzlich existieren Einträge zur Spezifikation
  - Encoder-Auflösung
  - Getriebeverhältnis.

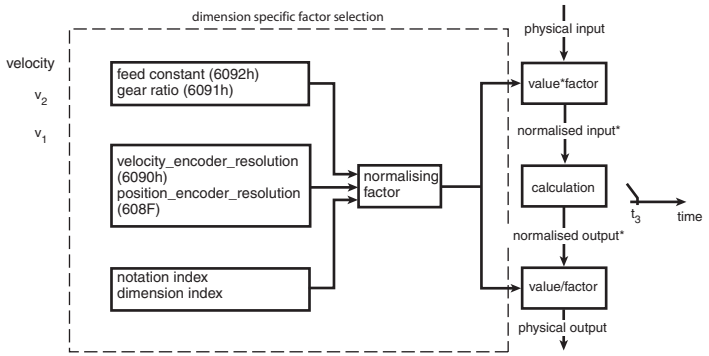


Bild 3.29 Einfluss/Verwendung von Objekten der Factorgroup

Index	Object	Name	Type	Attr.	M/O
6089_h	VAR	Position notation index	INTEGER8	rw	0
$608A_h$	VAR	Position dimension index	UNSIGNED8	rw	0
$608B_h$	VAR	Velocity notation index	INTEGER8	rw	o
$608C_h$	VAR	Velocity dimension index	UNSIGNED8	rw	o
$608D_h$	VAR	Acceleration notation index	INTEGER8	rw	o
$608E_h$	VAR	Acceleration dimension index	UNSIGNED8	rw	o
$608F_h$	ARRAY	Position encoder resolution	UNSIGNED32	rw	o
6090_h	ARRAY	Velocity encoder resolution	UNSIGNED32	rw	o
6091_h	ARRAY	Gear ratio	UNSIGNED32	rw	o
6092_h	ARRAY	Feed constant	UNSIGNED32	rw	o
6093_h	ARRAY	Position factor	UNSIGNED32	rw	o
6094_h	ARRAY	Velocity encoder factor	UNSIGNED32	rw	o
6095_h	ARRAY	Velocity factor 1	UNSIGNED32	rw	o
6096_h	ARRAY	Velocity factor 2	UNSIGNED32	rw	o
6097_h	ARRAY	Acceleration factor	UNSIGNED32	rw	0
$607E_h$	VAR	Polarity	UNSIGNED8	rw	o

Tabelle 3.18 Objects Factorgroup

Object 6089$_h$: *Position notation index*.....
Object 608A$_h$: *Position dimension index* .....
Object 608B$_h$: *Velocity notation index*.....
Object 608C$_h$: *Velocity dimension index* .....
Object 608D$_h$: *Acceleration notation index*.....
Object 608E$_h$: *Acceleration dimension index*..
Object 608F$_h$: *Position encoder resolution* .....
Object 6090$_h$: *Velocity encoder resolution*.....
Object 6091$_h$: *Gear ratio*.....
Object 6092$_h$: *Feed constant*.....
Object 6093$_h$: *Position factor*.....
Object 6094$_h$: *Velocity encoder factor*.....
Object 6095$_h$: *Velocity factor 1*.....
Object 6096$_h$: *Velocity factor 2*.....
Object 6097$_h$: *Acceleration factor*.....
Object 607E$_h$: *Polarity*.....

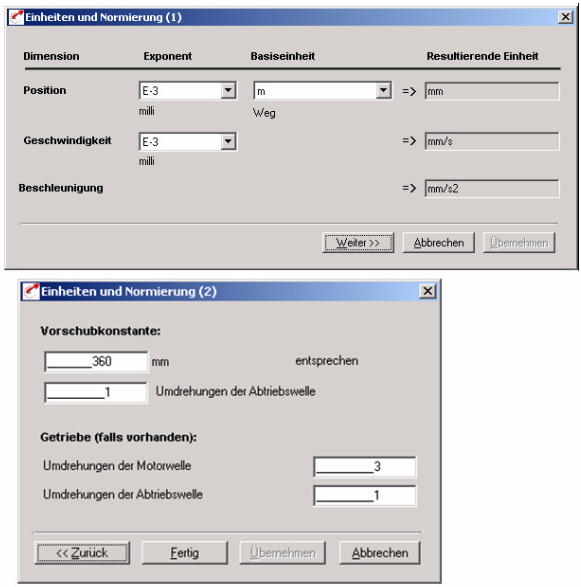


Bild 3.30 Factorgroup und Normierungsassistent im DRIVEMANAGER

Geräteprofil DS402 Homing Mode

Das Ziel des Homing Mode ist es, eine Referenzposition mit festem Bezug zur Maschine oder Anlage einzunehmen.

Das Profil spezifiziert eine Vielzahl (ca. 40) von Referenzmethoden. Die Methoden werden über das Objekt „homing_method“ ausgewählt.

- Die Auswertung von Endschaltern, Indexsignalen und Encodersignalen.
- Das Erstellen von eigenen Parametern für Geschwindigkeit und Beschleunigung.
- Das Halt-Bit zur Unterbrechung der Referenzfahrt.

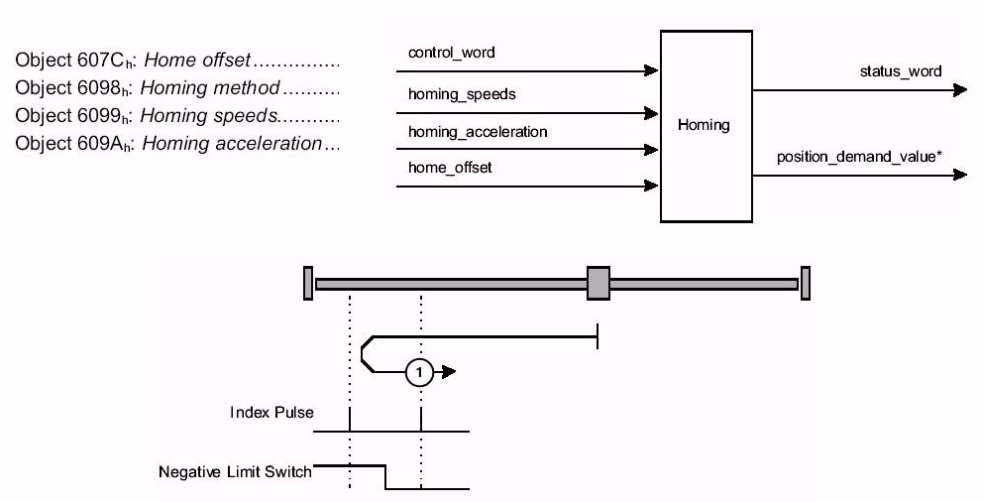


Bild 3.31 Homing Mode

Geräteprofil DS402 Profile Position Mode

Das Geräteprofil DS402 ist die für Antriebe typische Betriebsart. Ein umfangreicher Satz von Parametern stellt den Trajektoriengenerator ein.

Die wichtigste Vorgabe ist die Zielposition (target_position), welche unter Einhaltung der Verfahrgeschwindigkeit, Beschleunigung und Bremsrampe eingenommen werden soll (relativ oder absolut). Bei vorhandener Factorgroup werden die Vorgaben automatisch umgerechnet.

- Single Setpoint: nach einer Abbremsung meldet der Antrieb Zielposition erreicht, danach kann eine neue Zielposition angefahren werden.
- Set of Setpoints: Während der Bewegung zur Zielposition wird diese durch eine neue Zielposition „change_Set_immediately“ überschrieben.

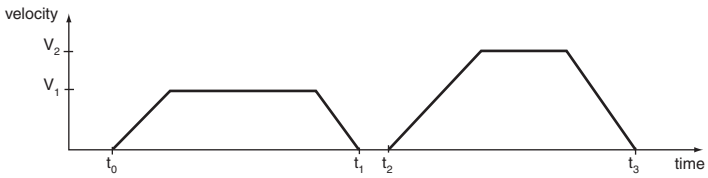


Bild 3.32 Single Set-point

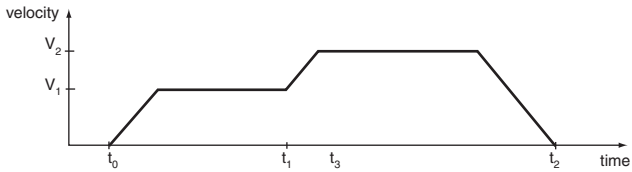


Bild 3.33 Set of Set-points

Index	Object	Name	Type	Attr.	M/O
$607A_h$	VAR	Target position	INTEGER32	rw	M
$607B_h$	ARRAY	Position range limit	INTEGER32	rw	0
$607D_h$	ARRAY	Software position limit	INTEGER32	rw	0

Tabelle 3.19 Objects Profile Position Mode

Index	Object	Name	Type	Attr.	M/O
$607F_h$	VAR	Max. profile velocity	UNSIGNED32	rw	0
6080_h	VAR	Max motor speed	UNSIGNED32	rw	0
6081_h	VAR	Profile velocity	UNSIGNED32	rw	M
6082_h	VAR	End velocity	UNSIGNED32	rw	0
6083_h	VAR	Profile acceleration	UNSIGNED32	rw	M
6084_h	VAR	Profile deceleration	UNSIGNED32	rw	0
6085_h	VAR	Quick stop deceleration	UNSIGNED32	rw	0
6086_h	VAR	Motion profile type	INTEGER16	rw	M
$60C5_h$	VAR	Max acceleration	UNSIGNED32	rw	0
$60C6_h$	VAR	Max deceleration	UNSIGNED32	rw	0

Tabelle 3.19 Objects Profile Position Mode

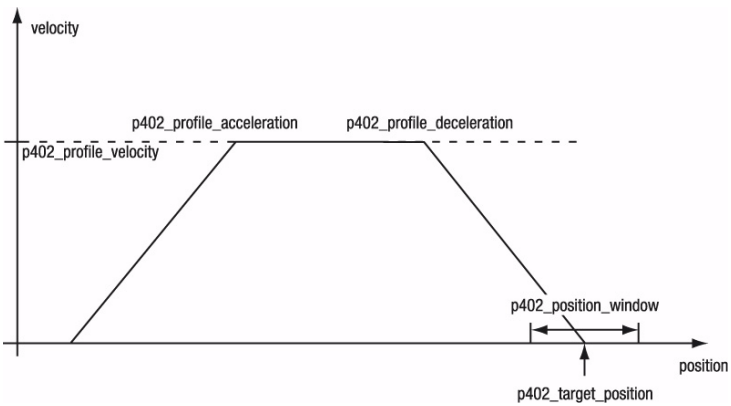


Bild 3.34 Profile Position Mode

Geräteprofil DS402 Profile Velocity Mode

- Erzeugung der Geschwindigkeitsvorgabe durch einen Trajektoriengenerator.
- Achse beschleunigt mit dem parametrierten Wert „profile_accelerartion“ bis zur Maximal-Geschwindigkeit „target_velocity“ und fährt mit dieser kontinuierlich weiter.
- Target_velocity = 0 oder Halt-Bit bremst den Antrieb.

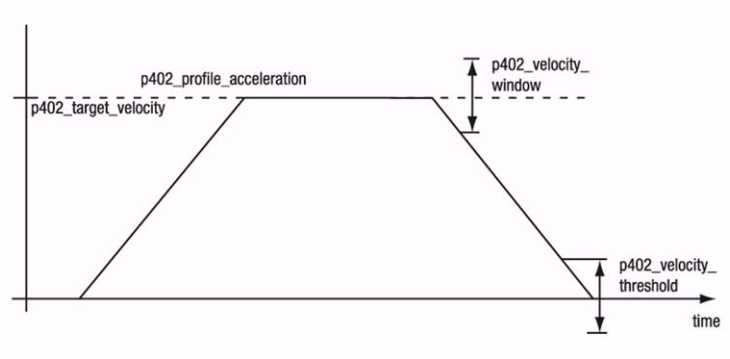


Bild 3.35 Profile Velocity Mode

Index	Object	Name	Type	Attr.	M/O
6069_h	VAR	Velocity sensor actual value	INTEGER32	ro	M
$606A_h$	VAR	Sensor selection code	INTEGER16	rw	O
$606B_h$	VAR	Velocity demand value	INTEGER32	ro	M
$606C_h$	VAR	Velocity actual value	INTEGER32	ro	M
$606D_h$	VAR	Velocity window	UNSIGNED16	rw	O
$606E_h$	VAR	Velocity window time	UNSIGNED16	rw	O
$606F_h$	VAR	Velocity threshold	UNSIGNED16	rw	O
6070_h	VAR	Velocity threshold time	UNSIGNED16	rw	O
$60FF_h$	VAR	Target velocity	INTEGER32	rw	M
$60F8_h$	VAR	Max slippage	INTEGER32	rw	O
$60F9_h$	ARRAY	Velocity control parameter set	UNSIGNED16	rw	O

Tabelle 3.20 Profile Velocity Mode

Geräteprofil DS402 Interpolated Position Mode

Der Interpolated Position Mode dient zur Steuerung mehrerer in ihrer Position koordinierter Achsen (Bahnkurven). Der Sync-Dienst realisiert die zeitliche Synchronisation der Achsen.

Besitzt der Antrieb einen Eingangspuffer können die Positionswerte im Burstverfahren geschrieben werden (zur Zeit nicht implementiert).

Die Default-Methode ist die lineare Interpolation zwischen den Positionswerten. Dazu muss mindestens ein Positionswert gespeichert werden.

In den c-line Antrieben ist kein Eingangspuffer implementiert.

Beispiel einer Bewegung von zwei Achsen

1. Ausgangssituation ist eine Bahnkurve in der Ebene, die aus einzelnen Punkten besteht. Jeder Punkt hat eine X-und eine Y-Koordinate sowie einen Zeitpunkt, wann die Position erreicht werden soll.

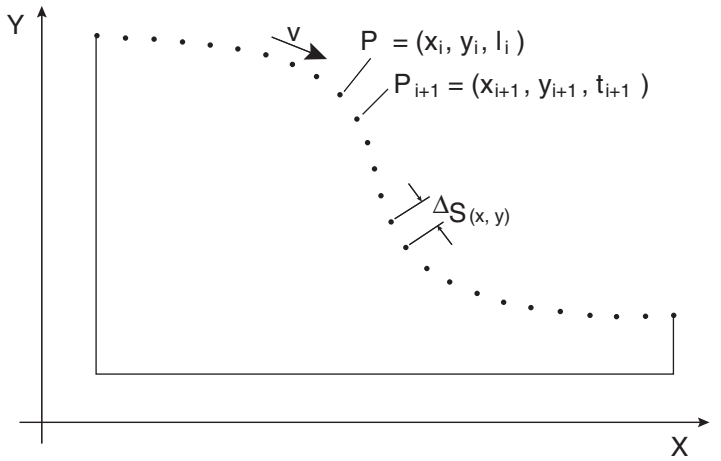


Bild 3.36 Interpolation for two axles

2. Aus der Kurve (path curve) lassen sich für jede Achse (X und Y) Zielpositionen in Abhängigkeit von der Zeit berechnen.

calculated position	ip data records for	
	x-axle	y-axle
P_i	x_i, t_i	y_i, t_i
P_{i+1}	x_{i+1}, t_{i+1}	x_{i+1}, t_{i+1}
P_{i+2}	x_{i+2}, t_{i+2}	x_{i+2}, t_{i+2}
P_{i+3}	x_{i+3}, t_{i+3}	x_{i+3}, t_{i+3}
P_{i+n}	x_{i+n}, t_{i+n}	x_{i+n}, t_{i+n}

Tabelle 3.21 Position calculation in Interpolated Position Mode for several axles

3. Diese berechneten Punkte werden als „Grobinterpolationspunkte“ (given interpolation position) zu den berechneten Zeitpunkten an die einzelnen Achsen übergeben. Dabei führt jede Achse gemäß der eingestellten Interpolationsmethode eine Feininterpolation zwischen den Grobinterpolationspunkten durch. Der Feininterpolationstakt ergibt sich aus dem Takt des Lagereglers.

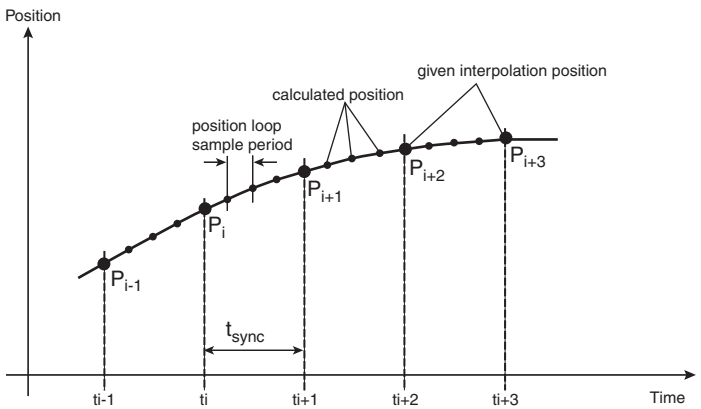


Bild 3.37 Linear interpolation for one aixs

Bahnkurve: Die Bahnkurve wird durch die übergeordnete Steuerung berechnet. An den Antriebsregler werden absolute Positionierwerte übergeben. Die Puffertiefe beträgt 1 (eins).
Die Positionierregler CDE/CDB/CDF3000 werden über Sync-Identifier synchronisiert und führen eine lineare Interpolation durch.

Index	Object	Name	Type	Attr.	M/O
60C0h	VAR	Interpolation sub mode select	INTEGER16	rw	0
60C1h	ARRAY	Interpolation data record	INTEGER32	rw	0
60C1h	RECORD	Interpolation time period	Interpolation time period record	rw	0
60C3h	ARRAY	Interpolation sync definition	UNSIGNED8	rw	0
60C4h	RECORD	Interpolation data configuration	Interpolation data configuration record	rw	0

Tabelle 3.22 Objects Interpolated Position Mode

Weitere Informationen zu den Objekten und ihrer Unterstützung durch die c-line Antriebsregler finden Sie im „Benutzerhandbuch CANopen Kommunikation“.

Interpolated Mode in der CDE/CDB/CDF3000 Firmware >V3.0

- Anwendungsbereich: Mehrachsanwendungen.
- Alternative zur Drehzahlsollwertvorgabe ±10V und Encodersimulation.
- Es sollte immer die aktuellste Firmware verwendet werden!
- Antriebsregler sind nur Slaves, welche die Sollwerte von einem Master verarbeiten!
- Berechnung der Bahnkurve immer in der Master-Steuerung.
- c-line Puffertiefe = 1
  kein Eingangspuffer für Burst von Sollpositionen, die mit Sync aktiviert werden...
- Übergabe **absoluter** Sollwerte (Positionssollwerte).
- Aktuell NUR **lineare** Interpolation zwischen den Grobinterpolationspunkten (given interpolation positions) von der Steuerung.
- Synchronistation über Sync Identifier
  Synchronisation der Task Scheiben (1ms Task) und damit synchrone Verarbeitung der Sollwerte.

Anzahl der Achsen	Zyklus / Buslast	
	1000 kBit	500 kBit
1	1 ms / 29 %	2 ms / 29 %
2	1 ms / 52 %	2 ms / 52 %
3	2 ms / 38 %	3 ms / 50 %
4	2 ms / 49 %	3 ms / 66 %
5	2 ms / 61 %	4 ms / 61 %
6	2 ms / 73 %	4 ms / 73 %
7	3 ms / 56 %	5 ms / 67 %
8	3 ms / 64 %	5 ms / 77 %
9	3 ms / 72 %	6 ms / 72 %
10	3 ms / 79 %	6 ms / 79 %

Tabelle 3.23 Typische Leistungsfähigkeit

Achtung: Leistungsfähigkeit
Zykluszeiten > 5ms vermeiden!!!
Ca. 60% Buslast noch akzeptabel!

Anwendungsbeispiel Druckmaschine

- Vierfarbdruckmaschine mit Synchronisation über CANopen Interpolated Position Mode.
- Trio Steuerung als Master:
  Eine Aufteilung der Slaves auf 2 CAN-Master ergibt geringere Zykluszeiten, es ist akzeptable Buslast möglich.
- Fünf Achsen mit CDE3000 und LSH-Motoren:
  Vier Farben und eine Achse für den Vorschub und hochauflösende SSI Geber im Einsatz.
- Alle fünf Achsen werden koordiniert über den Interpolated Position Mode.

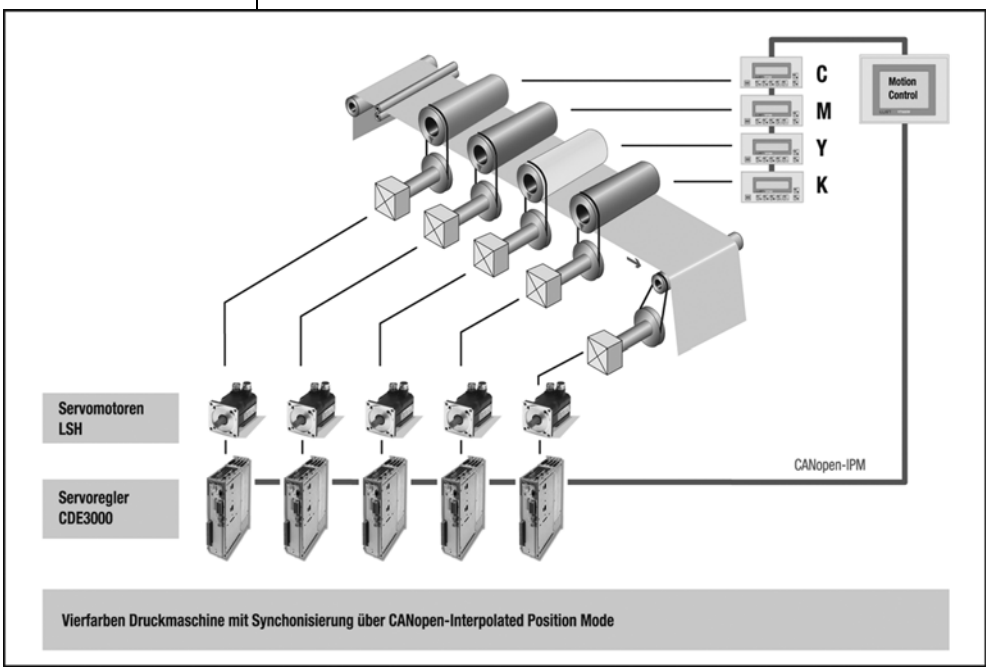


Bild 3.38 Anwendungsbeispiel Vierfarbdruck

Steuerungen für den Interpolated Position Mode

Mit den folgenden Steuerungen ist der CDE3000 im Interpolated Position Mode betrieben worden:

Firma	Steuerungstyp
Bachmann electronic GmbH Kreuzäckerweg 33 A-6800 Feldkirch Tel. +43 (0)55 22 / 34 97-0 Fax +43 (0)55 22 / 34 97-102	MPC270 mit CM202
ECKELMANN AG Berliner Straße 161 65205 Wiesbaden Tel.: +49 (0) 611 - 7103-0 Fax: +49 (0) 611 - 7103-133 email: info@eckelmann.de	E-ENC 55
Trio Motion Technology Shannon Way, Tewkesbury, Gloucestershire, GL20 8ND United Kingdom Phone: +44 1684 292333 Fax: +44 1684 297929	MC206

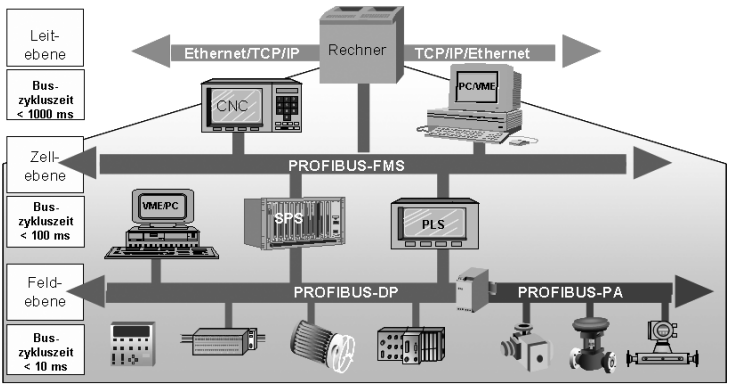
Tabelle 3.24 Steuerungen für Interpolated Position Mode

- Bachmann MP2xx ein CPU-Modul
  Es gibt CPU Module mit integrierter CAN-Schnittstelle
  Alternativ kann ein CAN-Master Modul CM202 eingesetzt werden
- Eckelmann E-ENC 55 ist ein Hutschienen PC mit integrierter CAN-Schnittstelle
- Trio Motion MC206 ist eine Steuerung mit integrierter CAN-Schnittstelle

3.3.4 PROFIBUS-DP Grundlagen

Übersicht

Transparente Kommunikation vom Sensor / Aktor bis in die Leitebene.



Die PROFIBUS-Familie

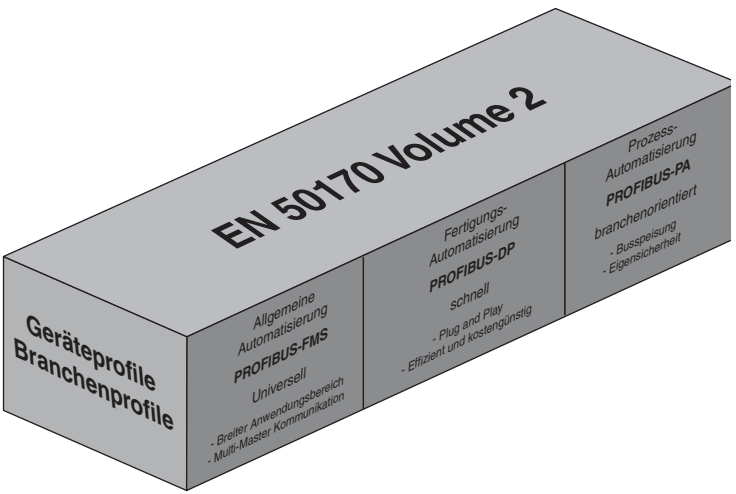
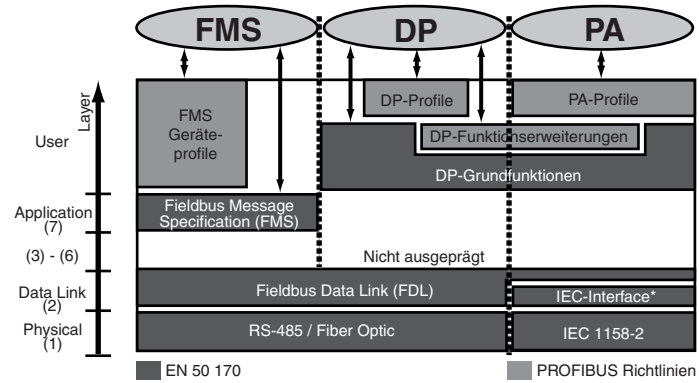


Bild 3.39 PROFIBUS-Familie

Das PROFIBUS-Protokoll erfüllt die Anforderungen des ISO/OSI-Referenzmodells für offene Systeme



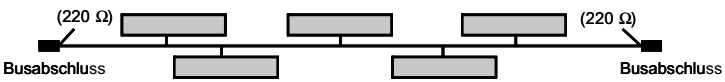
* Die Integration als Anhang 2 zur EN 50170 Volume 2 wurde beantragt.

Bild 3.40 PROFIBUS im ISO/OSI Referenzmodell

Übertragungstechnik

Merkmale der Übertragungstechnik

- High Speed RS 485 (H2)
  - Baudraten von 9,6 kBit/s bis 12 MBit/s, wählbar in Stufen
  - Geschirmte, verdrillte Zweidrahtleitung
  - 32 Stationen pro Segment, max. 127 Stationen zulässig (Master und Slaves)
  - Buslänge abhängig von der Baudrate
  - 12 MBit/s = 100 m; 1,5 MBit/s = 400m; $\leq$ 187,5 kBit/s = 1000 m
  - Durch Repeater (max. 10 Stück) kann die Buslänge bis auf 10 km ausgedehnt werden
  - 9 PIN, D-Sub Steckverbinder (Sonderstecker)
  - Die Bustopologie ermöglicht das An- und Abkoppeln von Stationen während des Betriebs ohne Rückwirkungen auf das Gesamtsystem.



Merkmale der Übertragungstechnik

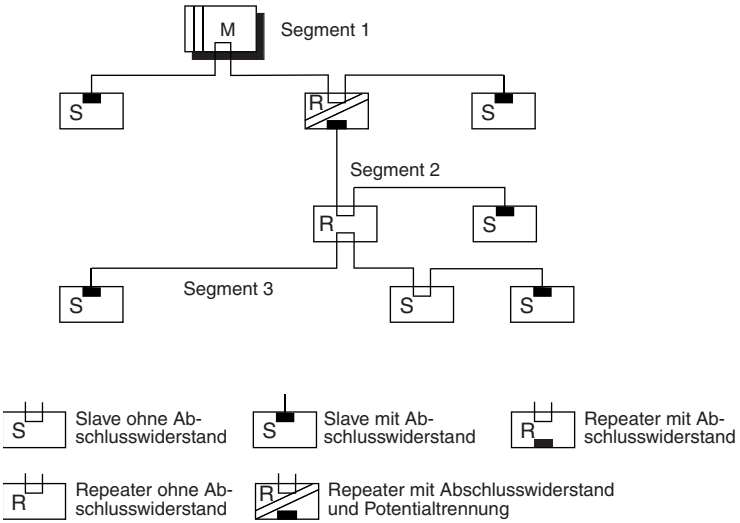


Bild 3.41 Segmentierung einer PROFIBUS-Anlage

- Maximal 32 Teilnehmer pro Segment
- Bis zu 10 Segmente in Reihe möglich
- Maximale Busausdehnung abhängig von der Baudrate beachten

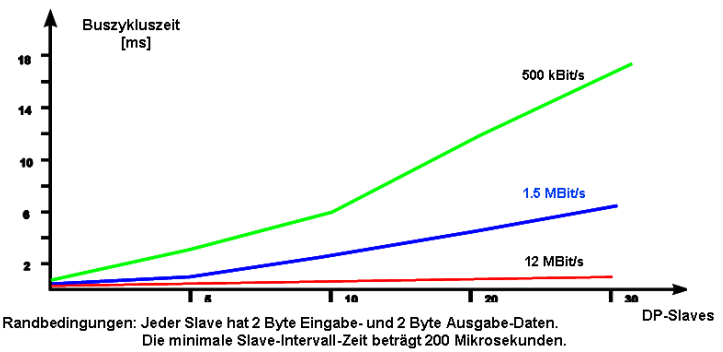


Bild 3.42 Buszykluszeit eines PROFIBUS-DP Mono-Master Systems

Randbedingungen:
Jeder Slave hat 2 Byte Eingabe- und 2 Byte Ausgabe-Daten.
Die minimale Slave-Intervall-Zeit beträgt 200 Mikrosekunden.

Kommunikationstechnik

PROFIBUS verwendet das Master/Slave- Verfahren.
Die Slaves werden sequentiell und zyklisch durch den Master angesprochen.

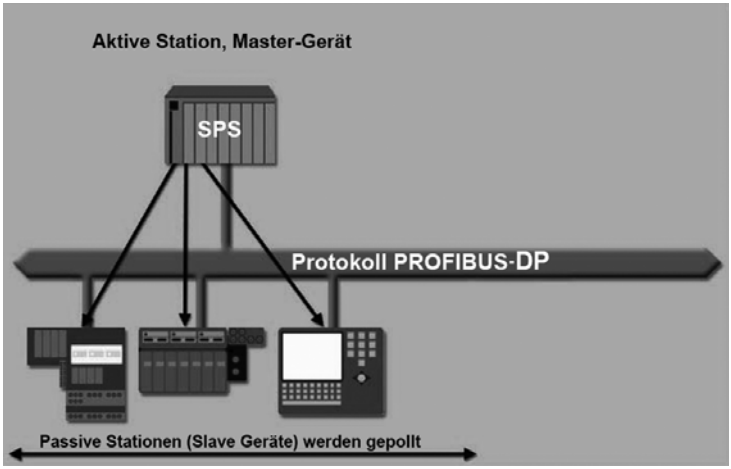


Bild 3.43 Protokoll PROFIBUS-DP

Master/Slave-Prinzip von PROFIBUS

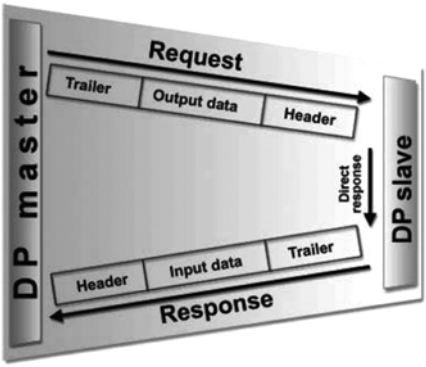


Bild 3.44 Master/Slave-Prinzip

Jedes PROFIBUS-System ist mit mindestens einem Master ausgestattet. Es sind maximal 127 Geräte (Masters und Slaves) in einem System möglich. Es ist auch möglich mehrere Master in einem System zu integrieren.

Bild 3.45 Tokenring

Achtung: Token und Multimasterbetrieb

Durch das Token wird zwischen den Mastern bestimmt, wer Zugriff auf den Bus und die Slaves hat. Aus Sicherheitsgründen ist nur eine Kommunikation zwischen einem Master und den ihm zugeordneten Slaves möglich. D. h. ein Slave kann **nicht** von zwei unterschiedlichen Mastern Sollwerte empfangen.

Das Kommunikationsprotokoll PROFIBUS DP

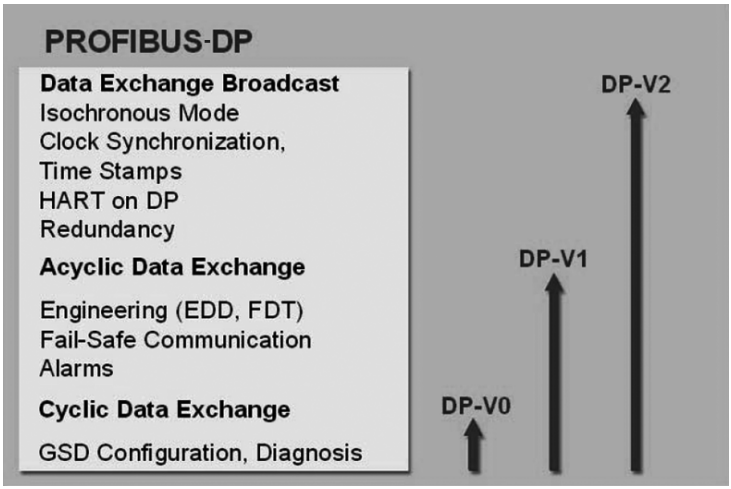


Bild 3.46 Gestufter Funktionsumfang von Profibus-DP

Die c-line Antriebsregler unterstützen das Kommunikationsprotokoll DP-VO. Der azyklische Datenaustausch (DP-V1) ist in Vorbereitung.

Kommunikation mit Antriebsreglern der c-line-DRIVES

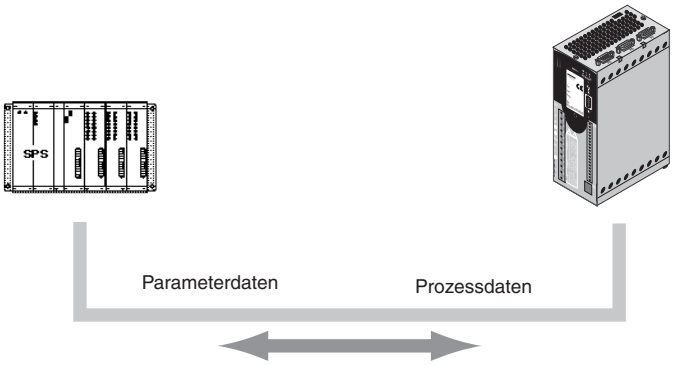


Bild 3.47 Datenaustausch

- Parameterkanal
  - Parametrieren der Antriebsgeräte
  - Auslesen der Parameter z. B. Fehlercode
- Prozessdatenkanal
  - Steuer- und Statuswortübergabe
  - Soll- und Istwertübergabe (Drehzahl, Position)

PROFIBUS-DP - Gerätetypen

DP-Master Klasse 1 (DPM1)
Zentrale Steuerung, welche mit den dezentralen E/As (DP-Slaves) austauscht.
Es sind mehrere DPM1 in einem Verbund erlaubt, typische Geräte sind SPS, PC, VME.

DP-Master Klasse 2 (DPM2)
Ein DPM2 ist ein Projektierungs-, Überwachungs- oder Engineering-Werkzeug, das zur Inbetriebnahme oder Parametrierung/Überwachung der DP-Slaves dient.

DP-Slave
Der DP-Slave ist das denzentrale Gerät mit direkter Schnittstelle zu den Ein-/Ausgabesignalen. Typische Geräte sind E/As, Antriebe, Ventile, Bediengeräte.

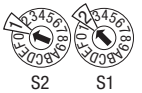
Profile der c-line Antriebsregler

- Verwendung von EasyDrive-Profilen
  - EasyDrive „Basic“ für Drehzahlregelung
  - EasyDrive „DirectPos“ für Positionierung mit Profilvorgabe über den Bus- und Tippbetrieb
  - EasyDrive „TablePos“ für Positionierung mit Steuerung der geräteinternen Fahrsatztabelle und Tippbetrieb
  - EasyDrive „ProgPos“ für Drehzahlregelung bzw. Positionierung mit Steuerung des Ablaufprogramms und Tippbetrieb
- ProfiDrive-Profil **nur** für CDA/CDD3000
  - ProfiDrive-Zustandsmaschine
  - Verwendung in drehzahlgeregelten Anwendungen
  - Verschiedene Soll-/Istwertformate (16/16, 32/32, 32/2x16)

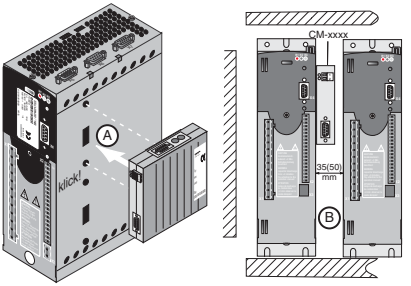
Profile der c-line Antriebsregler: Details zu den Profilen können Sie dem jeweiligen Benutzerhandbuch „PROFIBUS-DP“ entnehmen.

3.3.5 Inbetriebnahme Antriebsregler an PRROFIBUS/ S7

1. Vergabe der PROFIBUS-Adresse, entweder an der PROFIBUS-Option oder in der Software des Antriebsreglers. Wenn Software Adresse ungleich Null, hat diese Vorrang. Adressen können zwischen 1 und 126 vergeben werden.



2. Montage der PROFIBUS-Option CM-DPV1 am Antriebsregler, auf dem oberen Steckplatz. Wichtig ist beim Modul auf die Stellung der Jumper zu achten (für Umbau BG6 bis BG8).



3. Der PROFIBUS wird über genormte Stecker und Kabel verbunden. Wichtig dabei ist die richtige Kombination. Kabel mit starrer Kupferader in Steckern mit Schneidklemmtechnik und Kabel mit Kupferlitze in den Stekkern mit Schraubtechnik verwenden, da es sonst bei hohen Übertragungsraten zu Störungen kommen kann.

Das PROFIBUS-Kabel wird von Teilnehmer (Slave) zu Teilnehmer durchgeschleift. Jedes Ende des PROFIBUSSES muss mit einem Abschlusswiderstand abgeschlossen sein. In den handelsüblichen Normsteckern sind diese mit einem Schalter zuschaltbar.

4. PROFIBUS-Option mit externen 24 V versorgen, nicht die interne Spannung des Antriebsreglers verwenden.

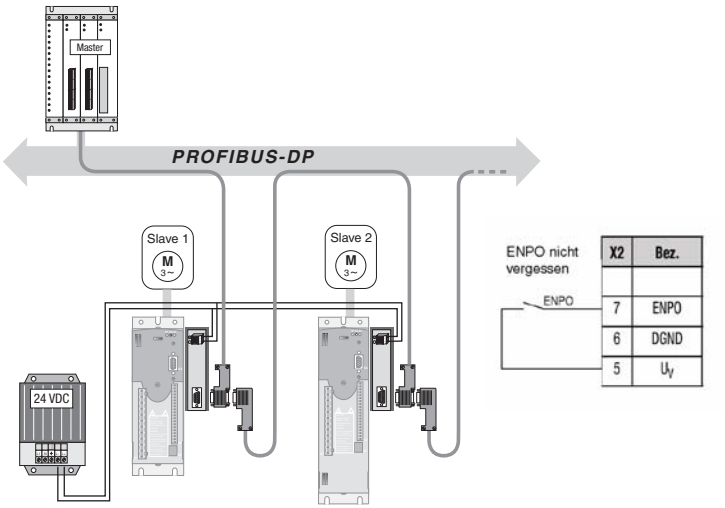


Bild 3.48 PROFIBUS-Vernetzung mit 24V Versorgungsspannung

Steuerklemmen Verdrahtung: Je nach Antriebsreglerausführung muß der ENPO (Reglerfreigabe) oder der ISDSH (Sicherer Halt) aktiviert (verdrahtet) werden.

5. Antriebsregler nach Anforderungen der Applikation parametrieren.
Wichtig dabei ist, darauf zu achten, dass die Voreingestellte Lösung mit Feld-Bus gewählt wird.

Informationen zur Parametrierung finden Sie im Anwendungshandbuch des jeweiligen Antriebsreglers.

6. Konfiguration der S7

Die S7 ist eine programmierbare Steuerung (SPS oder PLC) in der Regel mit integriertem PROFIBUS. Sie ist der Master im Busverband. Der PROFIBUS vollzieht den Datenaustausch im Master/Slave Prinzip, d.h. jeder Slave wird nacheinander zyklisch vom Master angesprochen. Dazu benötigt der Master einige Information zu jedem Slave. Diese werden über die GSD Datei in der Hardwarekonfiguration eingebunden.

Die GSD Datei ist als Datenblatt anzusehen. In ihr sind z.B. Angaben zum Hersteller, Softwarestand, Hardwarestand, Übertragungsgeschwindigkeiten, unterstützte Dienste, Diagnosemöglichkeiten usw. enthalten.

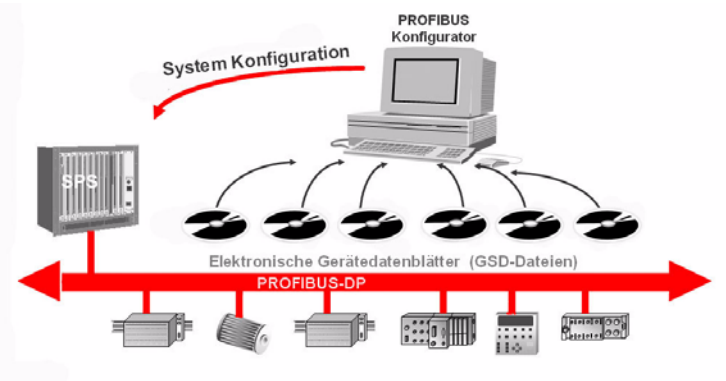
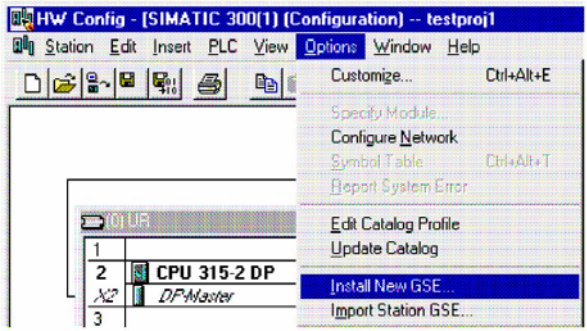


Bild 3.49 Konfiguration mit GSD-Datei

Hinweis: Zum Austausch von Messwerten und Stellgrössen zwischen Feldgerät und Automatisierungssystem ist die GSD zur Geräteintegration allein ausreichend.

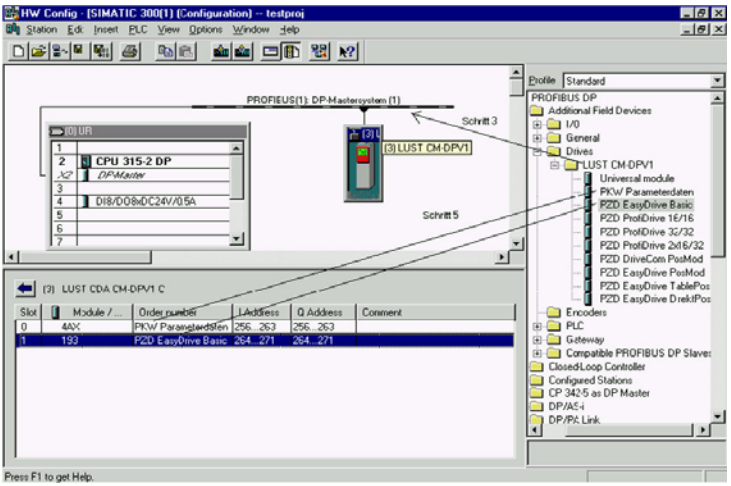
Einbinden der GSD Datei in die S7 Hardwarekonfiguration.
Unter Option im Menü „neue GSD Datei installieren“ wird die GSD Datei-eingefügt. Die GSD Datei heißt LUXX0564.GSD (XX Index für Release).



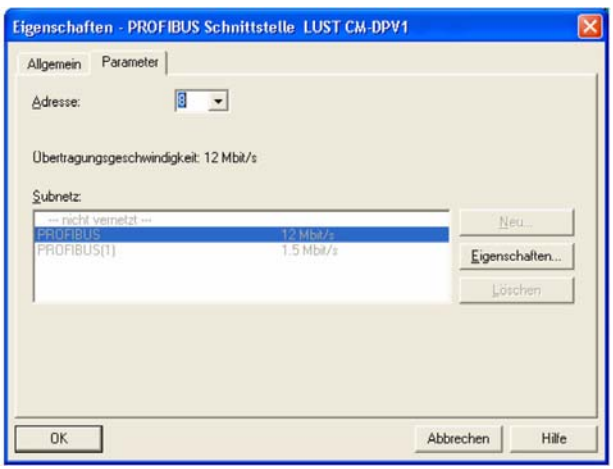
Die GSD Dateien finden Sie im Downloadbereich auf der Homepage der LTi DRiVES.

Achtung: Wählen Sie die GSD Datei abhängig von Ihrem verwendeten Antriebsregler und der Modulsoftware.

7. Anbinden des Moduls an den PROFIBUS.
In der Hardwarekonfiguration muss die Profilschiene und die S7 eingebunden werden. Diese zieht man einfach aus dem Katalog auf der linken Seite in das mittlere Fenster. Nach erfolgreicher Einbindung der GSD Datei, findet man diese im Katalog unter: PROFIBUS DP -> Weitere Feldgeräte -> Antriebe -> LTi CM-DPV1 V2.00. Dieses Modul wird dann an den PROFIBUS angebunden.



8. Vergabe der PROFIBUS Adresse in der Hardwarekonfiguration.
Beim Anbinden des Moduls an den PROFIBUS, erscheint folgendes Fenster automatisch. Hier unter „Adresse“ die eingestellte Adresse des Antriebsreglers einstellen.



9. Im Modul muss in „Slot 0“ der PKW Parameterdaten- und in „Slot 1“ der parametrierte Easy Drive Modus eingetragen werden. Über diese eingebunden Module wird im späteren zyklischen Betrieb der Parameter- und Datenaustausch vollzogen.

10. Konfiguration der S7 speichern und in S7 laden.

11. Nach dem Einschalten der S7 und des Antriebsreglers mit Optionsmodul geht dieses, bei erfolgreicher Parametrierung, in den zyklischen Datenverkehr über. Die grüne LED leuchtet.

12. Jetzt kann mit der Programmierung der S7 begonnen werden. Dort ist der Datenaustausch mit dem Slave über SFC 14 und SFC 15 herzustellen.

Einfache Beispiele für den ersten Datenaustausch findet man auf der Homepage. In diesen Programmbeispielen ist eine Variablentabelle enthalten. Diese ist in der Simatic im geöffneten Projekt in der linken Spalte unter „Projektname“ -> Simatic -> CPU -> S7 Programm -> Bausteine zu öffnen. Mit dieser Variablentabelle ist es möglich, das Steuerwort des Antriebsreglers zu senden und das Statuswort zu empfangen. Die weitere Programmierung bleibt dem SPS Programmierer überlassen.

Weitere Informationen und Dokumente

Weitere Informationen finden Sie auf der Homepage der PROFIBUS Nutzerorganisation (PNO): http://www.profibus.de

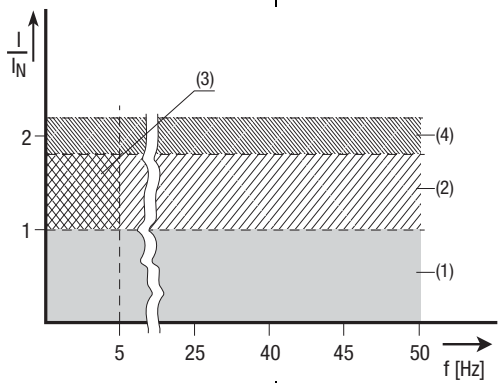
wie z. B.

- PROFIBUS-Grundlagen und Überblick
- Downloads (z.B. Spezifikationen), teilweise Zugang nur mit Mitglieder-Login
- Web-based Training (http://www.profibus.com/wbt/index2.html)

3.4 c-line Antriebsreglersystem CDA3000

3.4.1 Strombelastbarkeit der Antriebsregler CDA3000

Der maximal zulässige Antriebsreglerausgangsstrom und der Spitzenstrom sind abhängig von der Netzspannung, der Motorleitungslänge, der Endstufen-Schaltfrequenz und der Umgebungstemperatur. Ändern sich die Einsatzbedingungen, so ändert sich auch die maximal zulässige Strombelastbarkeit der Antriebsregler. Siehe dazu nachfolgende Kennlinien und Tabellen.



** Aussetzbetrieb $I_N > I_{eff}$*

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \Sigma_{i=1}^{n} I_i^2 \cdot t_i}$$

(1) Dauerbetrieb

(2) Aussetzbetrieb* > 5 Hz Drehfeldfrequenz
Antriebsregler 0,37 bis 15 kW
I/I_N = **1,8** (für 30 s bei 4 kHz)
I/I_N = **1,8** (für 30 s bei 8 kHz)
I/I_N = **1,8** (für 30 s bei 16 kHz)
Antriebsregler 22 bis 90 kW
I/I_N = **1,5** (für 60 s bei 4 kHz)
I/I_N = **1,5** (für 60 s bei 8 kHz)

(3) Aussetzbetrieb* 0 bis 5 Hz Drehfeldfrequenz
Antriebsregler 0,37 bis 15 kW
I/I_N = **1,8** (für 30 s bei 4 kHz)
I/I_N = **1,25-1,8** (für 30 s bei 8 kHz)
Antriebsregler 22 bis 90 kW
I/I_N = **1,5** (für 60 s bei 4 kHz)
I/I_N = **1-1,5** (für 60 s bei 8 kHz)

(4) Impulsbetrieb
Antriebsregler 0,37 bis 15 kW
I/I_N = **ca. 2,2** (bei 4, 8, 16 kHz)
Antriebsregler 22 bis 90 kW
I/I_N = **ca. 1,8** (bei 4, 8 kHz)

Antriebsregler für 230 V-Netze

Antriebsregler	Empf. 4-poliger Normmotor [kW]	Schaltfrequenz der Endstufe [kHz]	Nennstrom [A]	Spitzenstrom für Aussetzbetrieb 0 bis 5 Hz [A]	Spitzenstrom für Aussetzbetrieb > 5 Hz [A]	Max. Kühltemperatur/ Nennstrom 230 V [°C, A]
CDA32.004,Cx.x[1)]	0,75	4	4	7,2	7,2	55, 3,3
		8	4	7,2	7,2	55, 2,8
		16	3	5,4	5,4	55, 2,2
CDA32.006,Cx.x[1)]	1,1	4	5,5	9,9	9,9	55, 4,9
		8	5,5	9,9	9,9	55, 4,1
		16	4,3	7,7	7,7	55, 3,1

Tabelle 3.25 Antriebsregler für 230 V-Netze

Antriebsregler	Empf. 4-poliger Normmotor [kW]	Schaltfrequenz der Endstufe [kHz]	Nennstrom [A]	Spitzenstrom für Aussetzbetrieb 0 bis 5 Hz [A]	Spitzenstrom für Aussetzbetrieb > 5 Hz [A]	Max. Kühltemperatur/ Nennstrom 230 V [°C, A]
CDA32.008,Cx.x[1)]	1,5	4 8 16	7,1 7,1 5,5	12,8 12,8 8	12,8 12,8 9,9	55, 6,1 55, 5,4 55, 4,2
Spitzenstrom für 30 s bei Antriebsregler 0,75 bis 15 kW Kühllufttemperatur: 45 °C bei Endstufenschaltfrequenz 4 kHz 40 °C bei Endstufenschaltfrequenz 8, 16 kHz 1) mit Kühlkörper HS3... oder zusätzlicher Kühlfläche				Netzspannung 1 x 230 V -20 % +15 % Motorleitungslänge 10 m Montagehöhe 1000 m über NN Montageart angereiht		

Tabelle 3.25 Antriebsregler für 230 V-Netze

Antriebsregler für 400/460 V Netze

Antriebsregler	Empf. 4-poliger Normmotor [kW]	Schalt-frequenz der Endstufe [kHz]	Nenn-strom I_N [A] bei 400 V [2)]	Nenn-strom I_N [A] bei 460 V [3)]	Spitzen-strom für Aussetz-betrieb 0 bis 5 Hz [A]	Spitzen-strom für Aussetz-betrieb > 5 Hz [A]	Max. Kühltemperatur/ Nennstrom 400/ 460 V [°C, A/A]
CDA34.003,Cx.x	0,75	4 8 16	2,2 2,2 1,0	2,2 2,2 1,0	4 4 1,1	4 4 1,8	55, 2,2/2,2 55, 1,3/1,25 40, 1,0/1,0
CDA34.005,Cx.x[1)]	1,5	4 8 16	4,1 4,1 2,4	4,1 3,6 -	7,4 7,4 4,3	7,4 7,4 4,3	55, 3,2/3,2 55, 2,6/2 -,-
CDA34.006,Cx.x[1)]	2,2	4 8 16	5,7 5,7 2,6	5,7 5,7 -	10,3 10,3 4,7	10,3 10,3 4,7	55, 5,1/5,1 55, 4,7/4,7 -,-
CDA34.008,Wx.x	3,0	4 8 16	7,8 7,8 5	7,8 7,8 -	14 14 7,8	14 14 9	55, 7,8/7,5 55, 7,0/6,2 55, 4,4/-
CDA34.010,Wx.x	4,0	4 8 16	10 10 6,2	10 8,8 -	18 16,5 7,8	18 18 11	55, 8,2/7,5 55, 7,0/6,2 55, 4,4/-
CDA34.014,Wx.x	5,5	4 8 16	14 14 6,6	14 12,2 -	25 21 9,2	25 21 11,9	55, 13/12 55, 10/7 55, 3/-

Tabelle 3.26 Antriebsregler für 400/460 V-Netze

Antriebsregler	Empf. 4-poliger Normmotor [kW]	Schalt-frequenz der Endstufe [kHz]	Nenn-strom I_N [A] bei 400 V 2)	Nenn-strom I_N [A] bei 460 V 3)	Spitzen-strom für Aussetz-betrieb 0 bis 5 Hz [A]	Spitzen-strom für Aussetz-betrieb > 5 Hz [A]	Max. Kühltemperatur/ Nennstrom 400/ 460 V [°C, A/A]
CDA34.017,Wx.x	7,5	4 8 16	17 17 8	17 13,5 -	31 21,2 9,2	31 31 14,4	55, 14/14 55, 11/8 55, 4/-
CDA34.024,Wx.x	11	4 8 16	24 24 15	24 24 -	43 40 22	43 43 27	55, 23/22 55, 20/17 55, 13/-
CDA34.032,Wx.x	15	4 8 16	32 32 20	32 28 -	58 40 22	58 58 36	55, 25/25 55, 21/18 55, 14/-
CDA34.045,Wx.x	22	4 8	45 45	45 39	68 54	68 68	50, 33,7/33,7 50, 337/29
CDA34.060,Wx.x	30	4 8	60 60	60 52	90 71	90 90	50, 45/39 50, 45/39
CDA34.072,Wx.x	37	4 8	72 72	72 62	112 78	112 112	50, 54/54 50, 54/47
CDA34.090,Wx.x	45	4 8	90 90	90 78	135 104	135 135	50, 67,5/67,5 50, 67,5/58
CDA34.110,Wx.x	55	4 8	110 110	110 96	165 110	165 165	50, 82/82 50, 82/72
CDA34.143,Wx.x	75	4 8	143 143	143 124	215 143	215 215	50, 107/107 50, 107/93
CDA34.170,Wx.x	90	4 8	170 170	170 147	255 212	255 255	50, 127/127 50, 127/110
CDA34.250,Wx.x	132	4	250	250	255	300	-

Spitzenstrom für 30 s bei Umrichtermodulen 0,37 bis 15 kW
Spitzenstrom für 60 s bei Umrichtermodulen 22 bis 132 kW
Kühllufttemperatur 45 °C bei Endstufenschaltfrequenz 4 kHz (bis CDA34.032)
40 °C bei Endstufenschaltfrequenz 8, 16 kHz (bis CDA34.032)
40 °C bei Endstufenschaltfrequenz 4 kHz (ab CDA34.045)
1) mit Kühlkörper HS3... oder zusätzlicher Kühlfläche

2) Netzspannung 3 x 400 V ±10 %
3) Netzspannung 3 x 460 V ±10 %
Motorleitungslänge 10 m
Montagehöhe 1000 m über NN
Montageart angereiht

Tabelle 3.26 Antriebsregler für 400/460 V-Netze

3.4.2 Projektieren von Drehstrommotoren

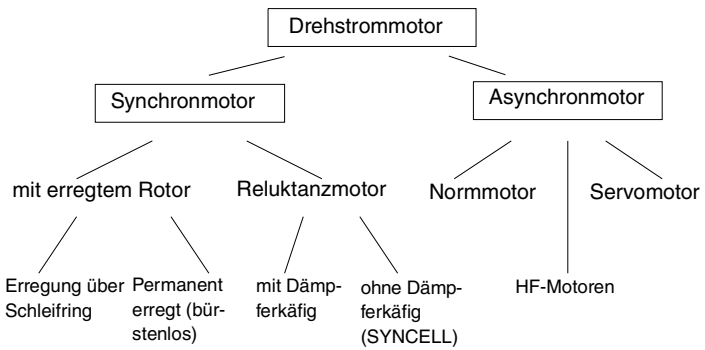
An dem Antriebsreglersystem können die verschiedensten Drehstrommotoren betrieben werden. Drehstrommotoren werden in synchroner und asynchroner Bauart hergestellt. Die Ständerwicklung ist so ausgelegt, dass bei Betrieb an einem Drehstromnetz im Motor ein Drehfeld entsteht, das den Läufer mitnimmt. Die Drehzahl wird von folgenden Größen bestimmt:

$$n_s = \frac{f \cdot 60}{P}$$

n_s = Synchrondrehzahl
P = Polpaarzahl
f = Ständerfrequenz

Die Motorart wird durch den Läufer, der in das Drehfeld eingebracht wird, bestimmt.

Übersicht Drehstrommotoren



Einsatzgebiete von Drehstrommotoren

Motorart	Wirkprinzip	Einsatzgebiet
DS-Normmotor	asynchron	In allen Industriebereichen. Etwa 10-25 % aller Motoren sind drehzahlveränderbar über Antriebsregler.
Synchronmotor mit Dämpferkäfig	synchron	In der Textilindustrie für: Aufspulmaschinen, Spinnpumpen, Galetten oder Treibwalzenmotoren usw. Weitere Einsatzgebiete sind in der Glas- und Papierindustrie als Wickelantriebe usw.
Reluktanzmotor	asynchron-synchron	In der Textilindustrie für: Aufspulmaschinen, Spinnpumpen, Galetten oder Treibwalzenmotoren usw. Weitere Einsatzgebiete sind in Streckwerkmaschinen sowie der Synchronlauf von zwei Achsen.
Hochfrequenzmotor	asynchron	In der Holzverarbeitungsindustrie als Hauptantrieb. Weitere Einsatzgebiete sind Schleif- und Frässpindeln, Zentrifugen, Vakuumpumpen und Wickler.
Asynchron-Servomotor	asynchron	In der Verpackungs- und Nahrungsmittelindustrie als Takt- und Positionierantrieb. Weitere Einsatzmöglichkeiten als Hauptantrieb für Werkzeugmaschinen.
Schiebeankermotor	asynchron mit Motorbremse	In der Fördertechnik als Fahr- und Hubmotor.

Tabelle 3.27 Einsatzgebiete von Drehstrommotoren

Projektierungshinweise für Drehstrommotoren

Motorart	Projektierungshinweise
DS-Normmotor	Kapitel 2.5.1
Asynchron-Servomotor	Kapitel 2.5.2
Schiebeanker-motor	Bei einem Schiebeankermotor wird die Bremse durch das Magnetfeld des Motors gelüftet. Der Motor muss immer mit Motorregelverfahren Kennliniensteuerung betrieben werden. Es ist eine Anpassung der Soft-warefunktion „Stromeinprägung“ durchzuführen. **Hinweis:** Im Leerlauf fließt ein hoher Strom. Der Betrieb bei kleinen Drehzahlen ist nur kurzzeitig zulässig.
Reluktanzmotor	Der Reluktanzmotor ist ein Sondermotor, der vor jedem Serieneinsatz genau getestet werden muss, siehe Kapitel 2.3.1.
Synchronmotor mit Dämpferkäfig	Der Synchronmotor ist ebenfalls ein Sondermotor, der vor jedem Serien-einsatz genau getestet werden muss, siehe Kapitel 2.3.2.
Hochfrequenzmo-toren (HF-Motoren)	HF-Motoren werden meistens mit konstantem Moment, bei hohen Fre-quenzen bis 1600 Hz betrieben. Weitere Informationen siehe Kapitel 2.3.3.

Tabelle 3.28 Projektierungshinweise für Drehstrommotoren in synchroner und asynchroner Bauart

3.4.3 Leistungsfähigkeit der Motorregelverfahren des CDA3000

Während der Inbetriebnahme des Antriebsreglers können drei verschiedene Motorregelungsverfahren angewählt werden. Die erforderliche Identifikation des Asynchronmotors erfolgt selbsttätig durch den Antriebsregler nach dem Motto “einschalten-läuft”. Dabei werden auch sämtliche Regelkreise optimiert.

u/f-Kennliniensteuerung (VFC)

Mit der VFC-Kennliniensteuerung wird die Spannung des Motors proportional zu der Ausgangsfrequenz des Antriebsreglers verändert. Dieses Verfahren eignet sich besonders für Reluktanz-, Synchron- und Sondermotoren.

Sensorless Flux Control (SFC)

Das neue Regelverfahren SFC, welches für Asynchronmotoren anwendbar ist, berechnet die Rotordrehzahl und den augenblicklichen Winkel des Rotors aus den elektrischen Größen. Aufgrund der berechneten Informationen lassen sich die Ströme für die Drehmomentbildung günstig in den Motor einspeisen. Auch ohne den Einsatz eines kostenintensiven Drehzahlgebers werden auf diese Weise hervorragende Regeleigenschaften erreicht.

Feldorientierte Regelung (FOR)

Bei der FOR werden die Rotor- und Drehzahlposition mit einem Drehzahlgeber ermittelt. Aufgrund dieser Messgrößen können der fluss- und der drehmomentbildende Strom immer in optimaler Lage zueinander in den Motor eingespeist werden. Dadurch wird ein Maximum an Dynamik und Rundlaufgüte erreicht.

Allgemeine Eigenschaften der Motorregelverfahren	VFC u/f-Kennlinien-steuerung	SFC Sensorless Flux Control	FOR Feldorientierte Regelung
Drehmomentanregelzeit	ca. 10 ms	< 2 ms	< 2ms
dynamische Störgrößenausregelung	NEIN	JA	JA
Stillstandsmoment	NEIN	NEIN	JA
Ausregelzeit für einen Laststoß von 1 x M_N	< 100 ms	< 100 ms	< 100 ms
Abkippschutz	bedingt	JA	JA
Drehzahlstellbereich $M_{Konst.}$	1:20	1:50	> 1:10000
Statische Drehzahlgenauigkeit n/n_N	< 2 %	< 1 %	quarzgenau

Tabelle 3.29 Leistungsfähigkeit der Motorregelverfahren mit DS-Normmotor

Allgemeine Eigenschaften der Motorregelverfahren	VFC u/f-Kennlinien-steuerung	SFC Sensorless Flux Control	FOR Feldorientierte Regelung
Frequenzauflösung	0,01 Hz	0,0625 Hz	2^{-16} Hz
Motorprinzip	asynchron synchron reluktanz	asynchron	asynchron
Mehrmotorenbetrieb	ja	nein	nein
Drehgeberauswertung	nein	nein	ja

Tabelle 3.29 Leistungsfähigkeit der Motorregelverfahren mit DS-Normmotor

SFC: Das Motorregelverfahren SFC ermöglicht erstmals eine optimale Antriebslösung für Maschinen wie ...

- Dispergierer
- Aktenvernichter
- Fleischkutter und -wölfe
- Schredder
- Zerkleinerungsmaschinen
- Industrie-Kaffeemühlen
- Brecher
- Mühlen u. a.

Losbrech- und Beschleunigungsmomente in Abhängigkeit der Motorregelverfahren

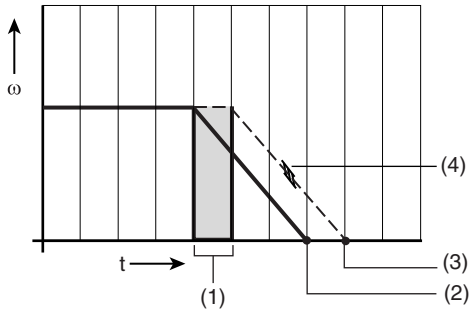
Eigenschaft	VFC u/f-Kennlinien-steuerung	SFC Sensorless Flux Control	FOR Feldorientierte Regelung
Losbrechmoment[1)] mit Normmotor (U_N = 400 V)	1,6 x M_N	1,8 x M_N	2 x M_N
Losbrechmoment[1)] mit Asynchron-Servomotor (U_N = 330 V)	2,5 x M_N	2,6 x M_N	2,8 x M_N
Beschleunigungsmoment[1)] mit Normmotor (U_N = 400 V)	1,2 x M_N	1,8 x M_N	2 x M_N
Beschleunigungsmoment[1)] mit Asynchron-Servomotor (U_N = 330 V)	1,6 x M_N	1,8 x M_N	2 x M_N
[1)] $I_{Antriebsregler}$ = 2 x I_{Motor}			

Tabelle 3.30 Losbrech- und Beschleunigungsmomente

Die oben stehende Tabelle zeigt auf, welches typische Moment an der Motorwelle einer Asynchronmaschine zur Verfügung steht, wenn diese über Antriebsregler CDA3000 betrieben wird. Der max. Motornennstrom wird über den Antriebsregler auf 2 x $I_{N\text{-}Motor}$ begrenzt.

Daten zu den Asynchron-Servomotoren können Sie Kapitel 2.2.2 entnehmen.

Positioniergenauigkeit mit Start-Stopp-Betrieb (ohne Geberrückführung) in Abhängigkeit der Motorregelverfahren



$\varphi_F = \omega \cdot t_{RF}$

φ_F = Positionierfehler in °

ω = Geschwindigkeit in mm/s

t_{RF} = Reaktionsfehler (Klemmen Abfragezyklus) in s

(1) Abfragezyklus der Steuerklemmen (CDA3000 = 1 ms) am Antriebsregler (t_{RF}=Reaktionsfehler)
(2) Zielposition 1 (Stoppsignal kommt zugleich mit dem Einlesevorgang der Steuersignale am Antriebsregler)
(3) Zielposition 2 (Stoppsignal kommt direkt nach dem Einlesevorgang der Steuersignale am Antriebsregler)
(4) Schlupfbereich (je nach Regelungsart ist die Bremsrampe schlupfabhängig)

Bild 3.50 Start-/Stopppositionierung

Eigenschaft	VFC u/f-Kennlinien-steuerung	SFC Sensorless Flux Control	FOR Feldorientierte Regelung
Bremszeit 100 ms, Fremdträgheitsmoment = Motorträgheitsmoment			
Normmotor (U_N = 400 V) 1500 min^{-1} auf 0 min^{-1}	10°	9°	9°
Normmotor (U_N = 400 V) 150 min^{-1} auf 0 min^{-1}	4°	4°	3°
Asynchron-Servomotor (U_N = 330 V) 1500 min^{-1} auf 0 min^{-1}	12°	10°	8°
Asynchron-Servomotor (U_N = 330 V) 150 min^{-1} auf 0 min^{-1}	6°	5°	4°
Bremszeit 500 ms, Fremdträgheitsmoment = Motorträgheitsmoment			
Normmotor (U_N = 400 V) 1500 min^{-1} auf 0 min^{-1}	9°	9°	9°
Normmotor (U_N = 400 V) 150 min^{-1} auf 0 min^{-1}	4°	4°	3°
Asynchron-Servomotor (U_N = 330 V) 1500 min^{-1} auf 0 min^{-1}	12°	10°	8°
Asynchron-Servomotor (U_N = 330 V) 150 min^{-1} auf 0 min^{-1}	6°	5°	4°
Werte bezogen auf die Motorwelle			

Tabelle 3.31 Typische Positionierfehler bezogen auf die Motorwelle in °

10° Positionierfehler, bezogen auf die Motorwelle, ist gleichzusetzen mit einem Positionierfehler eines Fahrantriebs (i = 20, Antriebsritzel 60 mm) von ±0,15 mm. Weiteres zum Thema Start-Stopp-Betrieb können Sie Kapitel 1.3.3 entnehmen.

$$\Delta_s = \frac{\pi \cdot d \cdot 10°}{360° \cdot i} = [mm]$$ d = Durchmesser des Antriebsritzels in mm

3.4.4 Standard-Antriebsregler-betrieb

Über die Erstinbetriebnahme werden automatisch die Steuer- und Regelkreise so optimiert, dass bei einer Zuordnung Antriebsreglerleistung gleich Motorleistung sich die in Bild 3.51 dargestellte, typische Leistungs- und Momentenkennlinie einstellt.

Typische Momentenkennlinie eines DS-Normmotors bei Standard-Antriebsreglerbetrieb $P_{Antriebsregler} = P_{Motor}$

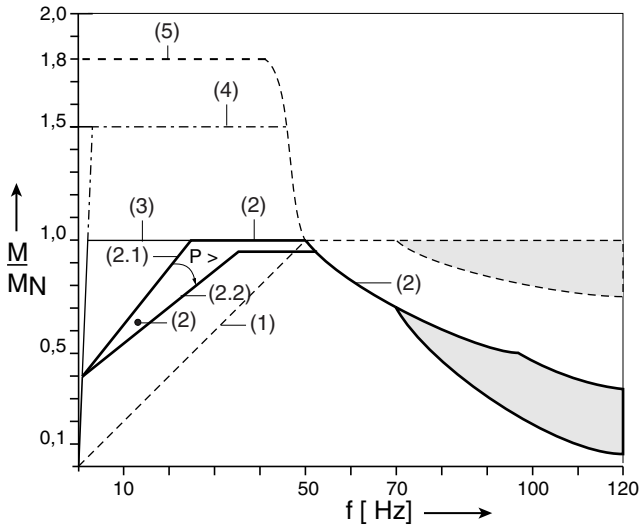


Bild 3.51 Typische Momentenkennlinie eines DS-Normmotors

(1) Abgegebene Leistung eines DS-Normmotors bei Standardantriebsreglerbetrieb
(2) Zulässige Drehmomentkennlinie eines eigenbelüfteten DS-Normmotors bei Standard-Antriebsreglerbetrieb
(2.1) Typische Kennlinie bei Motorleistungen < 4 kW
(2.2) Typische Kennlinie bei Motorleistungen > 15 kW

Hinweis: Die typischen Grenzwerte (2.1) und (2.2) können entsprechend Wärmeklasse „F“ um ca. 20 % angehoben werden. Genaue Aussagen erhalten Sie von Ihrem Motorhersteller.

(3) Zulässige Drehmomentkennlinie eines ausreichend fremdbelüfteten DS-Normmotors bei Standard-Antriebsreglerbetrieb. Es ist jedoch zu beachten, dass bei Motorleistungen > 15 kW sehr oft ein Rotorlüfter eingesetzt wird, wodurch die Kennlinie (3) eventuell reduziert werden muss.

(4) Maximal zulässiges Drehmoment eines DS-Normmotors nach VDE 0530 Teil 1 (120 s).
Maximales Drehmoment mit Antriebsreglern, die 150 % Überlast zulassen und das Motorregelverfahren SFC oder FOR aktiviert haben.
(5) Maximales Drehmoment mit Antriebsreglern, die 180 % Überlast zulassen und das Motorregelverfahren SFC oder FOR aktiviert haben.

Losbrech- und Beschleunigungsmomente in Abhängigkeit der Motorregelverfahren können Kapitel 3.4.3 entnommen werden.

Besondere Anwendungen

Auslegung (Lösung)	Anwendung
Motorleistung **kleiner** als Leistung der Antriebsregler	Einsatzgebiet der Lösung: • Bei Anwendungen mit Beschleunigungszeiten < 500 ms siehe Kapitel 2.2.1. • Bei Anwendungen, die hohe Überlastmomente erfordern.
Motorleistung **größer** als Leistung der Antriebsregler	Einsatzgebiet der Lösung: • Bei Anwendungen, in welchen eigenbelüftete Motoren bei Dauerbetrieb (S1) über einen sehr großen Stellbereich eingesetzt werden sollen. **Hinweis:** Der im Dauerbetrieb aufgenommene Motorstrom darf den Nennstrom des Antriebsregler nicht überschreiten.
Sechspoliger Motor am Antriebsregler	Einsatzgebiet der Lösung: • Bei Anwendungen wie Mühlen, Mischer, Extruder usw.
Betrieb eines Motors mit Feldschwächung	Einsatzgebiet der Lösung • Bei Anwendung mit fallendem Lastmoment wie Wickler, Haspel, Drehmaschine usw. Weitere Informationen siehe Kapitel 3.4.7
Betrieb von Sondermotoren am Antriebsregler	Einsatzgebiet der Lösung: • Siehe Kapitel 2.3
Betrieb eines Motors mit 25 % Feldschwächung	Einsatzgebiet der Lösung: • Bei Anwendungen wie Fahr- und Hubantriebe, weitere Informationen siehe Kapitel 3.4.7
Betrieb eines Motors mit 87 Hz-Kennlinie	Einsatzgebiet der Lösung: • Bei Anwendungen, wie Fahr- und Hubantrieben mit erweitertem Stellbereich bei konstanter Momentabgabe, weitere Informationen siehe Kapitel 3.4.8
Mehrere Motoren an einem Antriebsregler	Einsatzgebiet der Lösung • Bei Anwendungen in der Fördertechnik, Textilmaschinenbau usw., weiteres siehe Kapitel 3.4.7

Tabelle 3.32 Besondere Anwendungen

3.4.5 70 Hz-Kennlinie mit 25 % Feldschwächung

Fahr- und Hubantriebe, die mit 25 % Feldschwächung (70 Hz-Maximalfrequenz) arbeiten, bieten eine Vielzahl von Vorteilen:

- Man kann 40 % mehr Losbrech- und Beschleunigungsmoment erzielen, ohne die Kosten für die Antriebsreglerlösung zu erhöhen.
- Man kann eine höhere Wirtschaftlichkeit durch Einsparen eines Fremdlüfters oder durch Reduzierung der Motorleistung um einen Typensprung erreichen.

Beispiel: Antriebsauslegung mit 50 Hz-Kennlinie (F_{max} = 50 Hz) und 70 Hz-Auslegung (F_{max} = 70 Hz)

- Drehzahlstellbereich von 20 bis 95 min^{-1} an der Getriebeabtriebswelle
- Abtriebsmoment an der Getriebeabtriebswelle von 150 Nm
- Betriebsart: S1 (Dauerbetrieb), ED = 100 %
- Es gibt keine Zeitanforderung an das Anlauf- und Bremsverhalten.

1. Antriebsauslegung mit 50 Hz

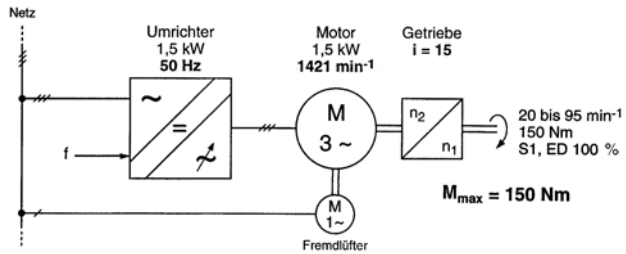


Bild 3.52 50 Hz-Antriebsauslegung

Die oben gezeigte Antriebsauslegung kommt in ähnlicher Form in fast allen Bereichen des Maschinenbaus vor. Über die Erstinbetriebnahme werden automatisch die Einstellungen für alle drei Motorregelverfahren vorgenommen.

2. Antriebsauslegung mit 70 Hz

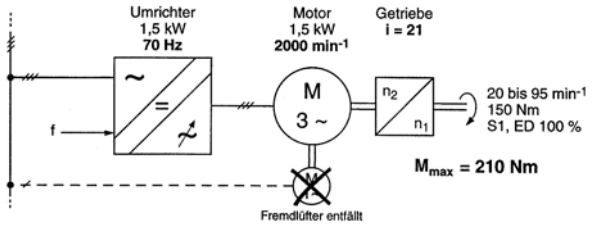


Bild 3.53 70 Hz-Antriebsauslegung

Bei der 70 Hz-Antriebsauslegung mit 25 % Feldschwächung wird die maximale Motordrehzahl des 1,5 kW-Motors über den Antriebsregler von 1421 min^{-1} (50 Hz) auf 2000 min^{-1} (70 Hz) erhöht. Die Anpassung der gewünschten Abtriebsdrehzahl am Getriebe wird durch eine höhere Getriebeübersetzung kompensiert. Da aber in beiden Fällen ein zweistufiges Getriebe benötigt wird, hat die Erhöhung der Getriebeübersetzung keinen Einfluss auf die Kosten.

Auch in diesem Fall wird automatisch, über die Erstinbetriebnahme, die Einstellung für alle Motorregelverfahren durchgeführt. Es ist zusätzlich in der Softwarefunktion „Ausgangsfrequenz-Begrenzung“ die max. Ausgangsfrequenz auf 70 Hz einzustellen.

3. Vergleich der Getriebeabtriebsdrehmomente, bei einer Antriebsauslegung mit 50 Hz- und 70 Hz-Kennlinie

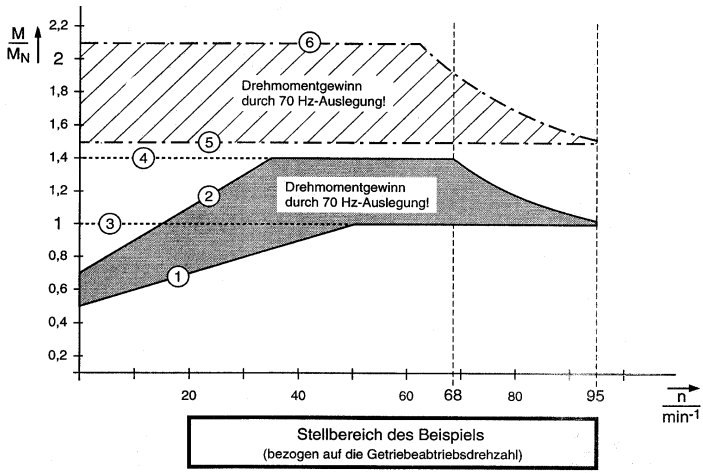


Bild 3.54 Vergleich der Getriebeabtriebsdrehmomente bei einer Antriebsauslegung für 50 und 70 Hz

Kurve 50 Hz	Kurve 70 Hz	Erklärung
1	2	Typische zulässige Drehmomentkennlinie eines **eigenbelüfteten Normmotors** (1,5 kW)
3	4	Typische zulässige Drehmomentkennlinie eines **fremdbelüfteten Normmotors** (1,5 kW)
5	6	Maximal erreichbares Drehmoment für 60 s eines Antriebs mit 1,5facher Überlast und automatischer Lastregelung

Tabelle 3.33 Vergleich der Getriebeabtriebsdrehmomente bei einer Antriebsauslegung für 50 und 70 Hz

Fazit 40 % höheres Beschleunigungsmoment

Bei einer Antriebsauslegung für 70 Hz wird der Motor mit einer um den Faktor 1,4 höheren Drehzahl betrieben. Dadurch wird die vom Motor abgegebene maximale Leistung bereits bei einer Frequenz von 50 Hz erreicht und bleibt darüber hinaus bis 70 Hz konstant. Das Drehmoment

fällt oberhalb von 50 Hz proportional zur Antriebsregler-Ausgangsfrequenz ab. Die höhere Drehzahl der Motorwelle wird durch eine um den Faktor 1,4 höhere Getriebeübersetzung kompensiert. Durch die Drehzahlanpassung steigt das verfügbare Drehmoment um 40 % zwischen 0 und 50 Hz bzw. 0 und 68 min^{-1}. Dies ist gleichbedeutend mit 40 % mehr Beschleunigungsmoment ohne Kostenerhöhung.

40 % mehr Überlastreserve und Losbrechmoment

Proportional zum Beschleunigungsmoment erreicht man natürlich auch ein um 40 % höheres maximales Drehmoment (siehe Kennlinien 5 und 6 in Bild 3.51) und damit auch ein um 40 % höheres Losbrechmoment.

60 % größerer Drehzahlstellbereich

Durch die um den Faktor 1,4 höhere maximale Motordrehzahl erhält man an der Getriebeabtriebswelle einen um ca. 60 % größeren Drehzahlstellbereich. Bezogen auf den im Bild 3.52, Bild 3.53 und Bild 3.54 besprochenen Anwendungsfall führt die 70 Hz-Auslegung sogar zur Einsparung eines Fremdlüfters und damit zur Platzreduzierung.

Oder eine Reduzierung der Motorleistung um einen Typensprung

Eine Antriebsauslegung mit Feldschwächung (70 Hz-Auslegung) lässt sich aber auch so gestalten, dass in der Regel eine Reduzierung der Motorleistung um einen Typensprung erreicht wird. Durch eine reduzierte Motorleistung werden Platz und Kosten gespart.

Es ist jedoch zu beachten, dass die Wahl der Maximaldrehzahl einen wesentlichen Einfluss auf das benötigte Beschleunigungsmoment und damit auf die Beschleunigungszeit hat. In der Praxis erreicht man bei gewünschten Beschleunigungszeiten unter 400 ms meistens keine Reduzierung der Motor- bzw. der Antriebsreglerleistung um einen Typensprung.

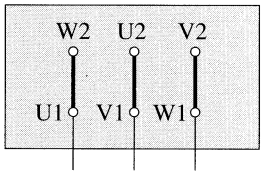
3.4.6 87 Hz-Kennlinie/Erweiterter Stellbereich

Der Betriebsbereich mit konstanter Momentabgabe eines 400 V / 50 Hz-Motors in Sternschaltung kann bei Dreieckschaltung bis auf 87 Hz erweitert werden.

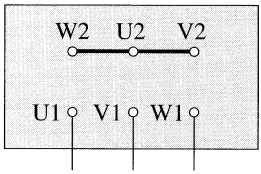
Beispiel: Motor 4 kW/50 Hz in Dreieckschaltung

- Nennleistung 4 kW
- Nenndrehzahl 1420 min^{-1}
- Nennspannung 230/**400 V**
- Schaltung Dreieck/**Stern**

1. Motor auf Dreieckschaltung (230 V/Dreieck) umklemmen



△-Schaltung



Y-Schaltung

2. Antriebsreglerleistung auswählen

$$P_{Umrichter} \geq P_{Motor} \cdot \sqrt{3} =$$

$$= 4\ kW \cdot 1{,}73 = 6{,}9\ kW$$

Gewählter Antriebsregler: CDA34.017
Nennleistung 7,5 kW
Nennspannung 0 ... 400 V
Max. Ausgangsfrequenz 0 ... 100 Hz

3. Antriebslösung 87 Hz-Kennlinie

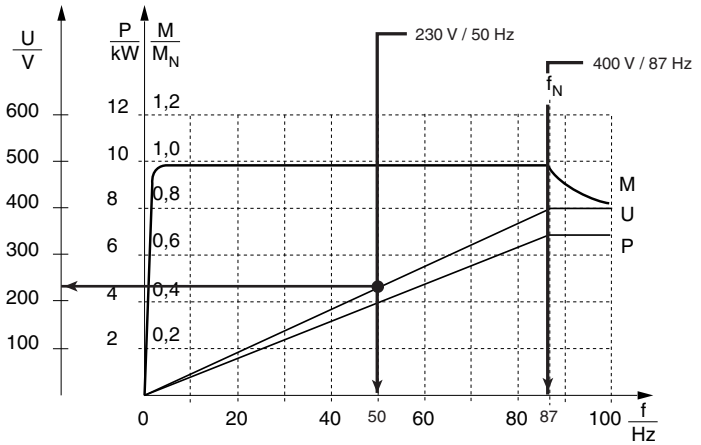


Bild 3.55 Konstanter Momentbereich bis 87 Hz

Auslegung/Anwendung

Auslegung/Lösung	Anwendungen
Motor mit 4 kW/50 Hz in Sternschaltung am Antriebsregler CDA34.010 (4 kW)	Einsatzgebiet der Lösung: • Bei Anwendungen mit konstanter Momentabgabe bis 50 Hz
Motor mit 4 kW/50 Hz in Dreieckschaltung am Antriebsregler CDA34.017 (7,5 kW)	Einsatzgebiet der Lösung: • Bei Anwendungen mit konstanter Momentabgabe bis 87 Hz, wie z. B. Hubantriebe
	Genaue Aussagen über die Dauerleistung (S1, ED 100 %) kann nur der Motorhersteller machen.
	Bei Durchführung der Erstinbetriebnahme werden automatisch alle Parameter für diesen Anwendungsfall eingestellt.

Tabelle 3.34 Anwendungen

Die Wahl der max. Frequenz hat einen wesentlichen Einfluss auf die Beschleunigungsleistung.

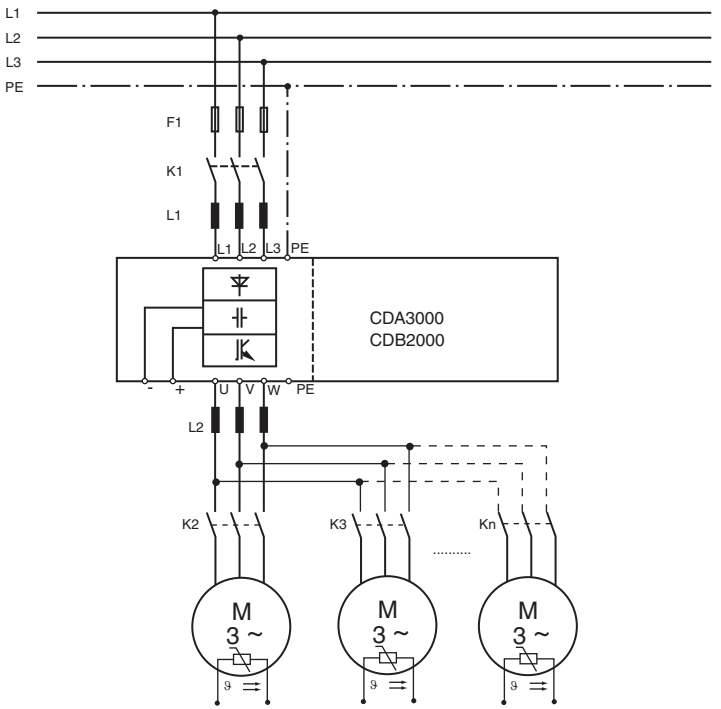
$$P_{MBE} = \frac{J_M \cdot n^2}{91,2 \cdot t_{BE}}$$

J_M	Trägheitsmoment des Motors (Rotors) in [kgm²]
t_{BE}	Beschleunigungszeit in [s]
PMBE	Motorbeschleunigungsleistung in [W]

Die Beschleunigungsleistung steigt mit dem Quadrat der Drehzahlerhöhung (z. B. verursacht durch die Wahl von max. 87 Hz anstelle von 50 Hz).

3.4.7 Mehrmotorenantrieb an einem Antriebsregler

Die Antriebsregler CDA3000 können mit mehreren, parallel geschalteten Motoren betrieben werden. Je nach Antriebsaufgabe müssen verschiedene Projektierungsbedingungen eingehalten werden.



L1 = Netzdrossel
L2 = Motordrossel

Bild 3.56 Mehrmotorenbetrieb an einem Antriebsregler

Projektierungshinweise für Mehrmotorenbetrieb

Thema	Projektierungshinweise
Stromauslegung des Antriebsreglers	Die Summe der Motorströme muss kleiner sein als der Nennausgangsstrom des Antriebsreglers. Σ der Motorströme, $(I_{M1} + I_{M2} + I_{Mn}) < I_{Antriebsregler}$
Motorregelverfahren	Der Mehrmotorenbetrieb ist nur mit Motorregelverfahren VFC zulässig.
Motordrossel	Wenn Motoren im laufenden Betrieb zu- oder abgeschaltet werden, dann muss immer eine Motorausgangsdrossel eingesetzt werden. Die Motordrossel begrenzt das du/dt und damit die Ableitströme und schützt vor Schaltüberspannungen, die durch das Schalten der Motorinduktivität entstehen.
Motorleitungslänge	Die Summe der gesamten Motorleitung ergibt sich aus der Addition der Einzellängen pro Motor.
Motorschutz	Bei Mehrmotorenbetrieb können die parallelgeschalteten Motoren nur durch eine Reihenschaltung der Motor-Klixonschalter über den Umrichter geschützt werden. Ist dies nicht gewünscht, dann muss pro Motor ein Thermistorschutzrelais oder PKZM Schutzschalter eingesetzt werden.
Alle Motoren haben die gleiche Leistung	In diesem Anwendungsfall bleiben die Drehmomenteigenschaften aller Motoren etwa gleich.
Die Motoren haben unterschiedliche Leistungen	Bei sehr unterschiedlichen Motorleistungen können beim Anlaufen und bei kleinen Drehzahlen Probleme auftreten. Das ist bedingt durch den hohen Statorwiderstand von kleinen Motoren und den dadurch hohen Spannungsabfall an der Statorwicklung. Praxis: Bei einem Leistungsverhältnis von etwa 1:4 zwischen den Motoren beträgt das Anlaufmoment des kleinsten Motors noch ca. 70 % des Nennmoments. Ist das Moment von ca. 70 % nicht ausreichend, muss ein größerer Motor eingesetzt werden. Beim gemeinsamen Starten der Motoren wird der kleine Motor später anlaufen, da die Schlupffrequenz größer ist.

Tabelle 3.35 Projektierungshinweise für Mehrmotorenbetrieb

Thema	Projektierungshinweise
Drehzahlverhältnislauf	Verschiedene Motorabtriebsdrehzahlen können nur durch Verwendung von Motoren mit verschiedenen Nenndrehzahlen, z. B. 1440 min^{-1} und 2880 min^{-1}, erreicht werden. Das Drehzahlverhältnis von ca. 1:2 wird während der Drehzahländerung eingehalten. Die Genauigkeit ist vom Schlupf und damit von der Belastung abhängig.
Ab- und Zuschalten von einzelnen Motoren	Abschalten von Motoren, siehe Kapitel 3.2.13 Beim Zuschalten von Motoren ist darauf zu achten, dass der Zuschaltstrom nicht größer als der Antriebsreglerspitzenstrom ist. Es ist von Vorteil, wenn die Antriebsreglerbelastung >40 % ist. Diese 40 %ige Grundlast stützt im Zuschaltaugenblick die Ausgangsspannung des Antriebsregler. Der Motor darf während des Zuschaltens nicht im Feldschwächebereich betrieben werden, da der zugeschaltete Motor sonst mit reduziertem Hochlaufmoment anlaufen müsste.

Tabelle 3.35 Projektierungshinweise für Mehrmotorenbetrieb

3.4.8 Drehgeberauswahl für FOR-Betrieb mit CDA3000

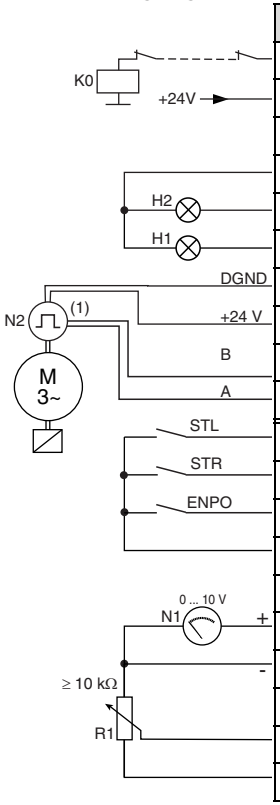
Die Umrichtermodule erlauben standardmäßig den Betrieb einer DS-Asynchronmaschine mit „Feldorientierter Regelung (FOR)“, wodurch das Umrichterantriebssystem mit DS-Asynchronmotoren ein ähnlich gutes Führungs- und Lastverhalten hat wie Servoantriebssysteme mit Resolverrückführung oder Gleichstromantriebe.

Der Drehgeberanschluss für die Regelungsart „FOR“ erfolgt über die digitalen Eingänge ISD02 (X2/11) und ISD03 (X2/12) des Umrichtermoduls CDA3000. Das vom Drehgeber gelieferte Pulssignal wird vom Umrichtermodul zusätzlich vervierfacht, wodurch eine hochwertige Drehzahlregelung mit hervorragendem Rundlauf erzielt wird.

Geeignete Drehgeber müssen ein Rechtecksignal mit SPS-Pegel bereitstellen, da zur Auswertung der Gebersignale, IEC1131 (L = < 5 V, H = > 18 V) kompatible Eingänge verwendet werden. Gebersysteme mit diesem Spannungsbereich (10 - 30 V) heißen „HTL-Geber“. Die HTL-Geber haben ausgangsseitig eine Gegentaktendstufe, mit einer A - und B Spur, die 90° phasenverschoben sind. Die Drehgeber stellen meistens zusätzlich zwei invertierte Signale $\overline{A}$ und $\overline{B}$ zur Verfügung. Die zusätzlichen Signale $\overline{A}$ und $\overline{B}$ werden für Umrichtermodule CDA3000 nicht benötigt.

Hinweis: Es können auch Drehgeber ohne invertierte Ausgangssignale ausgewertet werden. Solche Geber (Geberlager, Magnetringgeber) kommen vermehrt bei Einfachstanwendungen zum Einsatz. Bei Einsatz dieser Geber ist auf die besonderen Betriebsbedingungen wie z. B. Kurzschlussfestigkeit, magnetische Störfelder usw. zu achten. Diese Besonderheiten entnehmen Sie bitte den Datenblättern der jeweiligen Drehgeberhersteller. Der Einsatz solcher Geber bedarf einer genauen Untersuchung und kann nur projektbezogen freigegeben werden.

Anschlussbeispiel aus der Betriebsanleitung „Klemmenbelegung 4“



X2	Bez.	Funktion
20	OSD02	Relaiskontakt (Öffner) für Meldung „Betriebsbereit“
19	OSD02	
18	OSD02	Relaiskontakt (Schließer)
17	DGND	digitale Masse
16	OSD01	Meldung „Stillstand“
15	OSD00	Meldung „Sollwert erreicht“
14	DGND	digitale Masse
13	U_V	Hilfsspannung 24 V
12	ISD03	Drehgeber Spur B
11	ISD02	Drehgeber Spur A
10	ISD01	Start/Stopp Linkslauf
9	ISD00	Start/Stopp Rechtslauf
8	ENPO	Hardwarefreigabe der Endstufe
7	U_V	Hilfsspannung 24 V
6	U_V	
5	OSA00	Frequenz-Istwert 0 ... FMAX
4	AGND	analoge Masse
3	ISA01	nicht belegt
2	ISA00	Sollwert 0 V ... +10 V
1	U_R	Referenzspannung 10 V, 10 mA

(1) Nur Drehgeber Typ HTL (24 V-Versorgung) verwendbar. Eine Auswertung des Drehgebers erfolgt nur in der Regelungsart FOR. Hinweise zum Drehgeber siehe Bild 3.58.

Bild 3.57 Steuerklemmenbelegung Rotationsantrieb mit Geberauswertung

Drehgeber

An den Klemmen X2/11 und 12 kann ein HTL-Drehgeber (24 V-Versorgung) angeschlossen werden. Zulässige Impulszahlen liegen im Bereich von 32 bis 16384 Imp./Umdr. in der Schrittweite für die Impulse von 2^n mit n = 5 bis 14.

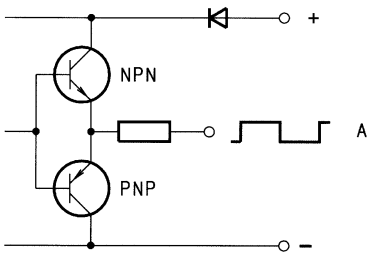


Bild 3.58 Prinzipschaltbild HTL-Ausgangsschaltung

Spezifikation der digitalen Eingänge ISD02 und ISD03

- f_{Grenz} = 150 kHz
- IEC1131- kompatibel (L ≤ 5 V, H ≥ 18 V)

Zusätzlich sind folgende Projektierungshinweise zu beachten:

- Leitungslänge max. 30 m, bei den in Tabelle 3.38 angegebenen Gebern
- geschirmte, paarverseilte Leitung mit ca. 60 nF/km
- max. Stromentnahme für Geberversorgung aus dem Umrichtermodul von ≤ 80 mA beachten.

Maximale Strichzahl des Drehgebers

$$SZ_{max} = \frac{9 \cdot 10^6}{n_{max}}$$

SZ_{max} maximale Strichzahl des Drehgebers in Impulse/U
n_{max} maximale Drehzahl des Motors in 1/min

maximale Motordrehzal [min^{-1}]	Strichzahl Drehgeber [Imp/U]	maximale Frequenz [Hz]	
		2-poliger ASM	4-poliger ASM
8788	1024	146	292
4393	2048	73	146
2196	4096	36	73

Tabelle 3.36 Maximale Drehzahl bei Verwendung von Drehgebern verschiedener Strichzahlen pro Umdrehung

Beispiel für n_{max} = 6000

berechnet: $$SZ_{max} = \frac{9 \cdot 10^6}{6000} = 1500$$ Impulse/U

ausgewählt: Ein Geber mit einer Strichzahl von < 1500 Imp./U
Der optimale Geber hat 1024 Impulse/U.

Minimale Motordrehzahl

Formel zur Berechnung der minimalen Motordrehzahl je nach Strichzahl des Drehgebers, damit ein Impuls des Drehgebers pro Absatzzyklus des Umrichtermoduls ausgewertet werden kann.

$$n_{min} = \frac{3000}{SZ} \cdot \frac{1}{min}$$

SZ Strichzahl des Drehgebers in Impulse/U
n_{min} minimale Drehzahl des Motors in 1/min

Minimale Drehzahlen für die Drehzahlregelung

Strichzahl Drehgeber [Imp/U]	minimale Motordrehzahl [min^{-1}]	minimale Frequenz [Hz]	
		2-poliger ASM	4-poliger ASM
32	94	1,6	3,3
64	48	0,8	1,6
128	24	0,4	0,8
256	12	0,2	0,4
512	6	0,1	0,2
1024	3	0,05	0,1
2048	1,5	0,03	0,05
4096	0,8	0,02	0,04
8192	0,4	0,01	0,03
16384	0,2	0,01	0,01

Tabelle 3.37 Minimale Drehzahl bei Verwendung von Drehgebern verschiedener Strichzahl pro Umdrehung

Empfohlene Drehgebertypen

Während der Freigabeuntersuchungen wurde nicht nur der Drehgebereingang (ISD02/3), entsprechend der Norm EN 61000-4-2 bis 5, qualifiziert, sondern auch das Zusammenspiel von Drehgebern verschiedener Hersteller mit dem Umrichtermodul bzw. der feldorientierten Regelung. Die getesteten Geber können Tabelle 3.38 entnommen werden.

Typ / Eigenschaften	Stegmann DG60 ELB	Stegmann HG660 AKR	Thalhein ITD40A4Y2 1024HBI	IVO GI 356.1604A29
Bauart	Anbaugeber	Hohlwellengeber	Hohlwellengeber	Anbaugeber Syn.Fl. 58 mm
geprüfte Strichzahl	1024	1024	2048	1024
max. Eigenfrequenz an ISD02/03	150 kHz	150 kHz	150 kHz	150 kHz
geprüfte Leitungslänge	30 m	30 m	30 m	30 m
EN61000-4-4 Burst	4 kV	4 kV	4 kV	4 kV
Leitungstyp	geschirmte Leitung ca. 60 nF/km	geschirmte Leitung ca. 60 nF/km	geschirmte Leitung ca. 60 nF/km	geschirmte Leitung ca. 60 nF/km

Tabelle 3.38 Getestete Geber am Umrichtermodul CDA3000

Typ / Eigenschaften	Stegmann DG60 ELB	Stegmann HG660 AKR	Thalhein ITD40A4Y2 1024HBI	IVO GI 356.1604A29
Stromversorgung	< 60 mA	< 60 mA	< 60 mA	< 60 mA
Spannungsversorgung	10 - 30 V DC	10 - 30 V DC	10 - 30 V DC	10 - 30 V DC
Verpolschutz	ja	ja	ja	ja

Tabelle 3.38 Getestete Geber am Umrichtermodul CDA3000

Hinweis zum mechanischen Aufbau:

- keine schockartigen Belastungen von Drehgebergehäusen und -wellen, z. B. durch Hammerschläge usw.
- gleichmäßige axiale Belastung (Ausgleichselemente verwenden)
- IP-Schutzart bzw. Ex-Schutzarten einhalten
- Geberkabel nach mechanischen Anforderungen auswählen (z. B. feste Verlegung, schleppfähig, Umweltbedingungen usw.)

Für den nachträglichen Anbau von Drehgebern haben sich Hohlwellenausführungen bewährt. Hierbei wird der Drehgeber direkt auf das zweite Wellenende des Motors aufgesteckt und über Motorgehäuse fixiert. Eine aufwendige axiale Zentrierung von Geber und Motor kann so eingespart werden.

3.4.9 Programmierbeispiele für Anwendungen mit CDA3000-PLC

Die PLC-Firmware besteht aus der Softwareleistung der Basis-Firmware, siehe Benutzerdokumentation CDA3000 und einer darauf aufbauenden PLC-Anwendungsplattform.

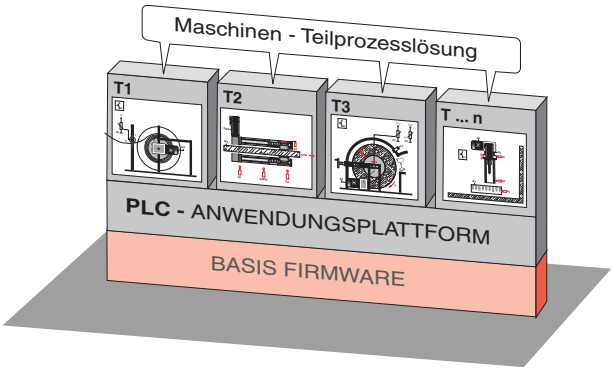


Bild 3.59 PLC-Firmware

Das Einsatzgebiet der PLC-Anwendungsplattform zur Erstellung von Automatisierungsprogrammen ermöglicht eine Vielzahl neuer Lösungen. Lösungen, die auch durch eine abgestufte Reihe von Operator-Panels unterstützt werden.

Die bereits gelösten Maschinen-Teilprozesse sind:

E/A-orientierte Prozesse

Bewegungslösungen, bei denen die Abläufe der Teilprozesse im Wesentlichen durch E/A-Signale aus den Verarbeitungsprozessen bestimmt werden. Hier sind zu nennen:

- Vorschubeinheit zum Bohren oder Senken
- Bänder- und Fahrwagenantriebe
- Tür- und Torantriebe
- Pumpenanlagen mit Schwimmerschaltern
- Palettenhub- und Drehtische

Zeitgesteuerte Prozesse

Bewegungslösungen, bei denen Abläufe der Teilprozesse im Wesentlichen zeitlich bestimmt sind. Typische Anwendungen sind:

- Rühr- und Mischanlagen für z. B. Farben
- verschiedenste Zentrifugenanlagen und Dispergierer
- Mühlen- und Zerkleinerungsmaschinen

Geregelte Prozesse

Bewegungslösungen, bei denen Prozessgrößen wie Drehmoment, Zug, Druck, Temperatur oder Position im Verarbeitungsprozess konstant gehalten werden müssen. Hierbei handelt es sich um Teilprozesse wie:

- Wobbler- oder Tänzerregelung für Wickelvorgänge
- Blockierschutzregelung für Zerkleinerungsmaschinen
- einfache Positionieraufgaben für Fahr-, Dreh-, Tür- und Torantriebe
- klassische Druck-, Temperatur- und Durchflussregelung

Die nachfolgenden Programmierübungen sind für die Umrichterbaureihe CDA3000-PLC gedacht. Die Aufgabenstellung und die Lösungsvorschläge sind nicht nach sicherheitstechnischen Gesichspunkten geprüft.

Die LTi DRiVES GmbH übernimmt infolgedessen keine Verantwortung und wird keine Haftung übernehmen, die auf die Nutzung der Programmierübungen zurückzuführen ist.

Zeitgesteuerter Kofferbandantrieb

Wenn der Koffer den Lichtstrahl der Lichtschranke L1 unterbricht, wird das Förderband FB gestartet. Die maximale Fördergeschwindigkeit wird per Potentiometer P1 vorgewählt.

Die Taktzeit des Förderbands FB wird mit dem Potentiometer P2 vorgewählt. Ist die mit dem Potentiometer P2 vorgewählte Zeit abgelaufen, wird der Umrichter M1, FU1 abgeschaltet und das Band trudelt aus.

Technologieschema

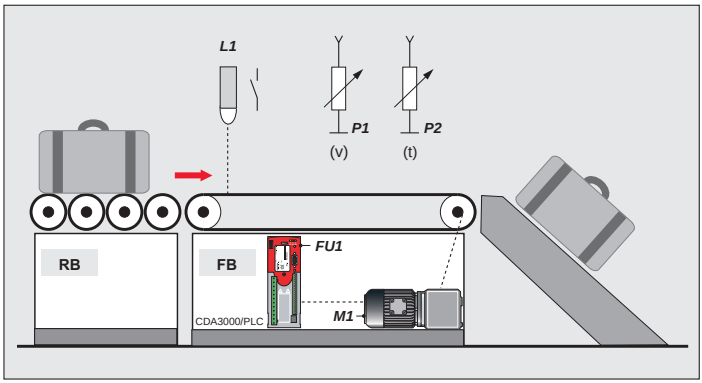


Bild 3.60 Zeitgesteuerter Kofferbandantrieb

Ablaufprogramm

```
; Ablaufprogramm für CDA-PLC, Bsp. Kofferbandantrieb

;Initialisierung
;Sollwertvorgabe über Analogeingang ISA0 mit entsprechender Nor-
mierung in den Geräteparametern

%TEXT(Kofferband)
DEF H000=max_Taktzeit
DEF H001=Hilfsvariable
DEF H002=Analogeingang
END

%P00
N010 SET H000=20000;      Maximalwert Taktzeit in ms
N020 SET H001=H000;       Hilfvariable
N021 SET H001:1023;       Auflösung des Analogeingangs 10Bit

N050 JMP (IS00=0) N050;   auf Freigabesignal durch
;                         Lichtschranke warten
N060 SET ENCTRL=1;        Start der Regelung

;Timerwert von Analogeingang ISA1 lesen
N070 SET H002=ISA1;       Analogwert in H002
N075 SET H002*H001;       Auflösung des Analogeingangs einrechnen

;Timer initialisieren
N080 SET Z00=H002
N085 JMP (Z00!=0) N085;   warten bis Timer abgelaufen

;Regelung stoppen
N090 SET ENCTRL = 0

N100 JMP N020;   Rücksprung
END
```

Weitere typische Anwendungsbeispiele sind Rührer- und Mischanlagen für Farbe und andere Medien sowie Zentrifugen, Mühlen und Zerkleinerungsmaschinen.

Bohrvorschubeinheit

Die Bohreinrichtung besteht aus einer Bohrspindel, Vorschubeinheit und Fördereinrichtung. Nachfolgend wird nur auf den Teilprozess „Bohren“ und damit auf den Spindel- und Vorschubantrieb eingegangen.

Grundstellung

Die Bohreinheit ist in der Grundstellung, wenn

- die Vorschubeinheit oben steht (S1 bedämpft ist),
- die Bohreinrichtung frei ist (S3 nicht bedämpft ist) und
- die Spindel M1, FU1 ausgeschaltet ist.

Funktionsablauf

Wenn das Werkstück W1 in der Bohreinrichtung (S3 bedämpft) ist und der Starttaster b1 betätigt wird, dann erhält die Bohreinheit die Bearbeitungsfreigabe.

Die Bohrspindel M1, FU1 beschleunigt auf die Bearbeitungsdrehzahl. Hat die Bohrspindel M1, FU1 die Bearbeitungsdrehzahl erreicht, dann senkt sich die Bohreinheit über den Vorschubantrieb M2, FU2.

Wird der Sensor unten (S2) angefahren, ist der Umkehrpunkt erreicht. Die Vorschubeinheit M2, FU2 reversiert, wodurch die Bohrspindel wieder in die Grundstellung gefahren wird.

Ist der obere Sensor (S1) angefahren, stoppt der Vorschubantrieb M2, FU2 und die Bohrspindel M1, FU1 automatisch. Das Werkstück wird durch die Fördereinrichtung ausgefördert und der Vorgang kann von Neuem beginnen.

Über das Operator-Panel OP wird die Drehzahl der Spindel und die Vorschubgeschwindigkeit vorgegeben.

Technologieschema

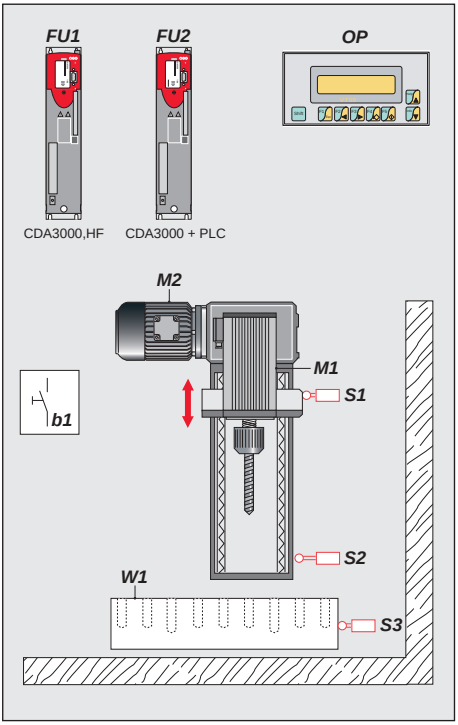


Bild 3.61 Bohrvorschubeinheit

Ablaufprogramm

```
;Beispielprogramm Vorschubeinheit

;Eingänge:
;M001=Start Vorschub
;IS01=Vorstop Öffner
;IS02=oberer Endschalter Öffner
;IS03=unterer Endschalter Schliesser

%TEXT (Vorschub)
DEF H000 = Sollwert_0
DEF H001 = Timer_1
DEF M002 = Initialisiert
DEF H002 = Eilgangfrequenz
DEF H003 = Schleichgangfrequenz
DEF H004 = Wartezeit
DEF H010 = Eilgang_positiv
DEF H011 = Eilgang_negativ
DEF H012 = Schleichgang_positiv
DEF H013 = Schleichgang_negativ
DEF M001 = Start Bewegung
END
```

```
; Ablaufprogramm für CDA-PLC
%P00
N005 SET H000=0;          Sollwert 0
N010 SET H001=1000;       Wert für Timer 1
N015 JMP (M002=1) N031;   Initialisierung überspringen
N020 SET H002=70;         Sollwert Vorschub Hz
N030 SET H003=20;         Schleichgang
N031 SET H004=200;        Wartezeit Arbeitspunkt
N032 SET M002=1

N040 SET H010=H002;       Arbeitsvariable Eilgang positiv
N041 SET H011=H002;       Arbeitsvariable Eilgang negativ
N042 INV H011

N050 SET H012=H003;       Arbeitsvariable Schleichgang positiv
N051 SET H013=H003
N052 INV H013

N060 JMP (M001=1) N100;   Vorschubbewegung starten
N065 JMP (IS02=0) N040;   Achse steht im oberen Endschalter
N070 SET REFFRQ=H010;     Achse in oberen Endschalter fahren
N075 JMP (IS02=1) N075;   Warten bis Endschalter erreicht
N080 SET REFFRQ=H000;     Achse stoppen
N081 SET OS00=1;          Achse in oberer Position
N082 SET OS01=0
N085 JMP N040;            Schleife schließen

N100 SET REFFRQ=H011;     Vorschub starten Eilgang
N105 SET OS00=0;          Achse fährt
N109 JMP (M001=0) N040
N110 JMP (IS01=1) N109;   Kontakt Vorstopp überwachen
N120 SET REFFRQ=H013;     Umschaltung Schleichgang
N129 JMP (M001=0) N040
N130 JMP (IS03=0) N129;   Warten auf unteren Endschalter
N140 SET REFFRQ=H000;     Achse stoppen

N150 JMP (M001=0) N040
N151 SET REFFRQ=H012;     zurückfahren bis Vorstopp
N152 JMP (M001=0) N040
N153 JMP (IS01=0) N152
N154 WAIT H004
N155 JMP N120;            Vorschub

N190 JMP N040
END                       ;Programmende
```

Weitere typische Anwendungsbeispiele sind Bänder- und Fahrwagenantriebe, Tür- und Torantriebe, Palettenhub- und Drehtische und z. B. Pumpenanlagen mit Schwimmerschaltern.

Reißwolf mit Überlasterkennung

Zerkleinerungsmaschinen werden in verschiedenen Anwendungen z. B. in der Lebensmittel-, Bauindustrie oder auch im Bürobereich eingesetzt. Ein häufiges Problem während des Zerkleinerungsprozesses ist das Blockieren des Antriebs.

In diesem Beispiel wird ein Reißwolf mit Überlasterkennung und automatischem Freifahren (Rückdrehen) der Walze bei Blockage dargestellt. Durch den Anwender kann das Verhalten der Überlasterkennung parametriert werden. Dazu gibt der Anwender Reaktionszeiten bei Überlast, Mindestzeit für Überlast und die Anzahl der Freifahrversuche per Rezepturverwaltung ein.

Funktionsbeschreibung

Nach dem Starten des Antriebs FU1,M1 über den Taster b1 drehen sich die Walzen des Reißwolfs mit einer einstellbaren Festfrequenz in Vorwärtsrichtung A. Während des Betriebs übernimmt die PLC von FU1 die Überwachung des Motorstroms I auf eine einstellbare Schwelle hin. Bei einer Schwellwertüberschreitung, d. h. bei Überlast oder Blockade der Walze, wird der Antrieb gestoppt, sofern die einstellbare Überlastdauer überschritten wurde. Nach einer ebenfalls einstellbaren Zeit wird eine Rückwärtsdrehung der Walze in Richtung B ausgelöst (Freifahren). Die Dauer der Rückwärtsdrehung ist ebenfalls über PLC-Timer gesteuert. Nach der Rückwärtsdrehung wird der Normalbetrieb in Richtung A wieder gestartet. Tritt eine Überlast mehrfach (Anzahl in PLC einstellbar) in einer parametrierbaren Zeit auf, wird der Antrieb gestoppt.

Über das Operator-Panel OP werden mittels der integrierten Rezepturverwaltung alle Timer und Schwellwerte in Abhängigkeit von dem zu zerkleinernden Material eingestellt.

Technologieschema

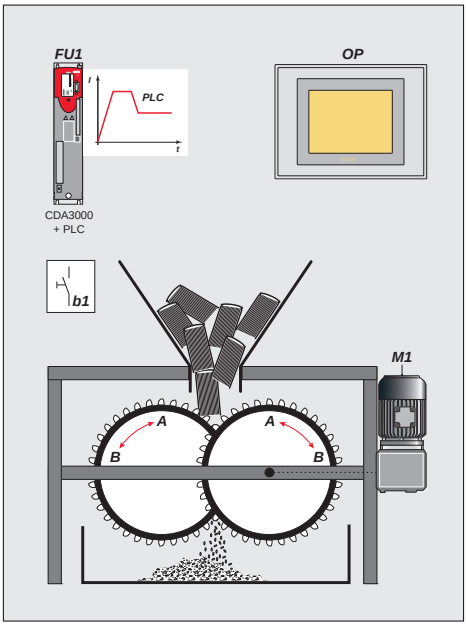


Bild 3.62 Reißwolf mit Überlasterkennung

Ablaufprogramm

```
; Ablaufprogramm für CDA Reißwolf

; Eingänge
; IS00 - Start Regelung
; IS01 - Start Ablaufprogramm

;Ausgänge
; OS00 - Warnung Überlast
; OS01 - Sollwert erreicht
; OS02 - S-RDY

%TEXT(Reisswolf)
DEF H001 = Timer_Ueberlast
DEF H002 = Pausenzeit_Ueberlast
DEF H003 = Reversierzeit
DEF H004 = Timer_Wiederholung
DEF H005 = Zaehler_Reversieren
DEF H006 = max_Wiederholungen
DEF H010 = Sollwert_Betrieb
DEF H011 = Sollwert Reversieren
DEF F000 = akt_Scheinstrom
DEF F001 = Schwellwert
END

%P00
;Init
```

```
N005 SET H001 = 500;              Reaktionszeit bei Überlast (ms),
Z000
N010 SET H002 = 500;              Pausenzeit bei Überlast (ms)
N015 SET H003 = 3000;             Reversierzeit (ms)
N020 SET H004 = 20000;            Timer Wiederholungen reversieren
N025 SET H005 = 0;                Zähler Reversierversuche
N030 SET H006 = 3;                Max. Wert Zähler
N035 SET H010 = 50;               Sollwert vorwärts (Hz)
N040 SET H011 = -20;              Sollwert reversieren (Hz)

N045 SET F000 = 0;                akt. Scheinstrom
N050 SET F001 = 1;                Schwellwert Überlast

;Hauptprogramm
N055 SET H005 = 0
N060 SET Z001 = H004;             Timer Wiederholungen Reversieren
N065 SET REFFRQ = H010;           vorwärts

N070 SET F000 = PARA[408];        Scheinstrom holen
N075 JMP (Z001 = 0) N055;         Timer Wiederholngen reseten
N080 JMP (F000 < F001) N070

N085 SET Z000 = H001;             Timer Reaktionszeit Überlast

N090 SET F000 = PARA[408];        Scheinstrom holen

N095 JMP (F000 < F001) N070;      Überlast weg?
N100 JMP (Z000 != 0) N090;        Timer abgelaufen?

N105 SET REFFRQ = H000;           Antrieb stoppen
N110 WAIT H002   ;                Pausenzeit warten

N115 JMP (H005 = H006) N145;      zu oft reversiert

N120 SET REFFRQ = H011;           Sollwert reversieren
N125 SET H005 + 1;                Zähler reversieren
N130 WAIT H003   ;                Reversierzeit
N135 WAIT H002   ;                Pausenzeit

N140 JMP N065    ;                Rücksprung zu vorwärts

N145 NOP
END                       ;       Programmende
```

Eine andere Möglichkeit, diese Applikation zu lösen, zeigt das folgende Programm. Der Ablauf ist geringfügig verändert gegenüber der oben angegebenen Funktionsbeschreibung.

```
; plc-programm for shredder
;parameter
; 270-FFIX1 = reference forward
; 271-FFIX2 = reference reverse
; Zeile  55 special function warning current
; inputs
; IS00 - Start forward
; IS01 - Start reverse
; IS02 - Stopp
; IS03 - fault reset
; outputs
; OS00 - c_rdy
; OS01 - reference reached
; OS02 - warning current limit
%TEXT(shredder)
DEF H000 = value timer reverse
DEF H001 = value timer repeat
DEF H002 = max repeat
DEF H003 = repeat
DEF M000 = STA_WIS
```

```
DEF Z000 = timer revers
DEF Z001 = timer repeat
DEF F000 = reference forward
DEF F001 = reference reverse
DEF F003 = reference 0
END

%P00
;Init
N005 SET H000 = 5000;     timer reverse
N006 SET H001 = 600000;   timer repeat
N007 SET H002 = 3;        max count repeat
N010 SET F000 = PARA[270];reference forward
N011 SET F001= PARA[271];reference reverse
N012 SET F003=0

;main
N030 SET REFFRQ=F003
N035 SET OS02=0

N040 JMP (IS00=1) N050;   start forward
N041 JMP (IS01=1) N200;   start reverse
N043 JMP N040

N050 SET H003=1
N051 SET Z001 = H001;     Timer Wiederholungen reversieren
N052 SET ENCTRL=1;        enable control
N053 SET REFFRQ = F000;   forward
N054 WAIT 2000;           waiting for acceleration

N055 SET M000 = STA_WIS; warning current?
N056 JMP (Z001=0) N050;   Timer Wiederholngen reseten
N057 JMP (IS02=1) N030
N060 JMP (M000=0) N055;   no warning

N070 SET Z000=H000;       timer reverse
N071 SET H003+1;          count reverse
N075 JMP (H003>H002) N150;max count reverse
N080 SET REFFRQ = F001;   reference reverse
N085 JMP (Z000=0) N053;   timer reverse
N090 JMP (IS02=1) N030;   stop required
N095 SET M000 = 0
N100 JMP N085

N150 SET REFFRQ=F003;     stop
N155 SET OS02=1
N160 JMP (IS03=0)N160;    Waiting for reset
N165 SET OS02=0
N170 JMP N030

N200 SET ENCTRL=1;        enable control
N201 SET REFFRQ = F001;   start reverse
N210 JMP (IS02=1) N030;   stop required
N220 JMP N210
END                       ;Programmende
```

Weitere typische Anwendungen sind Blockierschutzregelungen für Mischer, Mühlen und Zerkleinerungsmaschinen.

Abwickelantrieb für Draht

Der hier beschriebene Abwickelantrieb versorgt eine Trocken- oder Nassziehdrahtmaschine mit Material. Zur Lösung des autarken Teilprozesses gehört die Integration der Antriebslösung in den Automatikbetrieb und den Einrichtmodus.

Funktionsbeschreibung

Die Abzugsgeschwindigkeit wird über die Antriebseinheit FU1,M1 bzw. dem implementierten Prozessregler und einer Rückkopplung über einen Tänzer T geregelt. Für die Montage einer neuen Drahtrolle auf den Dorn D ist zur Arbeitserleichterung des Bedieners ein Einrichtmodus implementiert. Der Einrichtmodus wird über einen Schalter b1 bzw. Steuereingang IS02 am Frequenzumrichter FU1 nur im Stillstand aktiviert.

Im Einrichtmodus fährt der Antrieb FU1,M1 mit einer Festdrehzahl und überwacht den Motorstrom. Der Motorstrom ist so lange unter einer einstellbaren Grenze, bis der Mitnehmer auf der Antriebswelle den Draht-Coil mitnimmt. Daraufhin muss der Antrieb FU1,M1 sofort anhalten, damit der Bediener den Coil auf der Antriebswelle fixieren kann.

Durch Überwachung der Tänzerlage P2 im Automatikbetrieb wird erkannt, ab wann Draht abgezogen wird und automatisch die Antriebsregelung FU1,M1 aktiviert.

Technologieschema

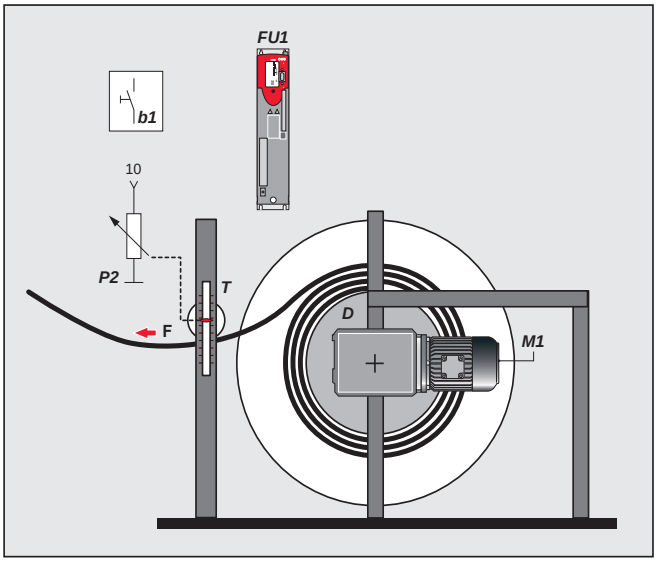


Bild 3.63 Abwickelantrieb für Draht

Ablaufprogramm

```
; Ablaufprogramm für CDA-PLC, Drahtabzug
; (Wickler mit Tänzerreglung)
;Tänzerregelung über Prozessregler in der Firmware

%TEXT(Wickler)
DEF H001=Schwellwert
DEF H002=Wartezeit
DEF H000=Analogwert
DEF M001=Warnung_Strom
END

%P00
;Initialisierung
N010 SET H001=10;          Schwellwert Tänzer
N011 SET H002=500;         Wartezeit Anfahren in ms

;Hauptprogramm
N020 JMP (IS02=1) N100;   Einrichtmodus mit Festfrequenz
N030 SET H000=ISA0;        Tänzerauslenkung überwachen
N035 JMP (H000<H001) N020;Start bei Auslenkung des Tänzers

;Regelungsprozess
N050 SET ENCTRL=1;         Regelung freigeben
N060 SET H000=ISA0;        Tänzerauslenkung überwachen
N065 JMP (H000>H001) N060;Stopp bei Endlage Tänzer
N070 SET ENCTRL=0;         Regelung aus
N080 JMP N020

;Einrichtmodus
```

```
N100 SET ENCTRL=1;        Regelung freigeben
N110 WAIT H002;           Wartezeit anfahren
N115 SET M001=STA_WIS;    Warnschwellescheinstrom überschritten?
N120 JMP (IS02=0) N020;   Einrichtmodus abgebrochen
N125 JMP (M001=0) N115;   Laststoß überwacht?
N130 SET ENCTRL=0;        Regelung aus
N140 JMP N020

END
```

Weitere typische Anwendungsbeispiele sind Wobbler- und Tänzerregelungen für Aufwickelantriebe.

Durchmesserabhängige Geschwindigkeitsregelung

Dieses PLC-Beispiel steuert den Hauptantrieb einer Poliermaschine. Unter Berücksichtigung der Abnutzung der Polierscheibe muss die Umfangsgeschwindigkeit konstant gehalten werden.

Funktionsbeschreibung

Der Antrieb FU1,M1 wird mit dem Schalter b1 eingeschaltet. Der Sollwert der Umfangsgeschwindigkeit ω wird über das Potentiometer P2 an das Ablaufprogramm übergeben.

Das Programm arbeitet direkt in Anwendereinheiten, d.h. die Umfangsgeschwindigkeit besitzt die Einheit [m/s], der Scheibenumfang die Einheit [m]. Die hierfür erforderlichen Normierungen sind im Ablaufprogramm festgelegt. Im Beispielprogramm ist dieser auf den kundenspezifischen Stellbereich von 10 m/s - 34,5 m/s normiert.

Bei Abnutzung der Scheibe kann über ein Handrad die Polierscheibe so verschoben werden, dass immer der optimale Abstand zur Arbeitsfläche gegeben ist. Diese mechanische Verstellung liefert gleichzeitig über das Potentiometer P1 ein 0 - 10 V Analogsignal für den Verstellbereich. Die Verstellposition ist direkt proportional zum Durchmesser der Polierscheibe x. Verändert sich nun der Durchmesser, dann wird aus der Analoginformation bei geforderter konstanter Umfangsgeschwindigkeit die neue Sollfrequenz des Hauptantriebs M1 berechnet. In diesem Beispiel liegt der Durchmesser der Scheibe zwischen 0,55 m und 0,96 m (=> Umfang 1,73 m - 3,01 m).

Der Initiator S1 überwacht den Abstand zwischen Polierscheibe und der Schutzhaube. Bei zu kleinem Abstand wird ein Starten des Hauptantriebs verhindert bzw. ein laufender Betrieb abgebrochen.

Technologieschema

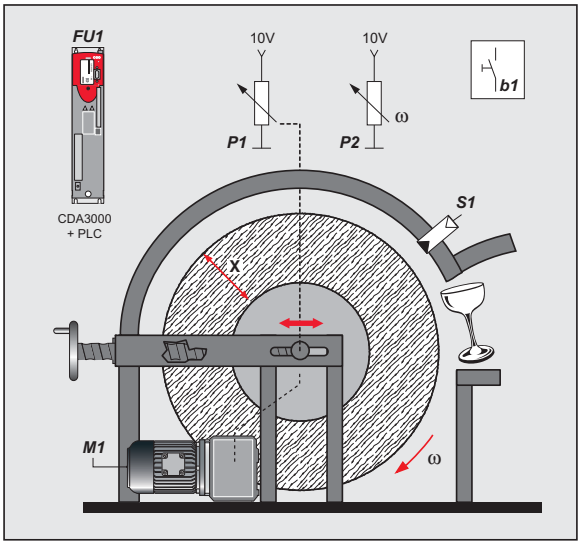


Bild 3.64 Durchmesserabhängige Geschwindigkeitsregelung

Ablaufprogramm

```
; Ablaufprogramm für CDA-PLC Poliermaschine
; Infos:
; Geschwindigkeitssollwert über ISA0, mit folgenden kundenspez.
; Einstellungen:
;    0V = 10m/s
;    10V = 34,5m/s   -> Delta = 24,5m/s  -> Auflösung 2,45m/s/V
;
; Umfangssollwert über Poti an ISA1, mit folg. kundenspez.
; Einstellungen:
;   0V -> 0,96m => 3,01m  max. Umfang
;   10V -> 0,55m => 1,73m min Umfang  -> Delta = 1,28m  ->
;   Auflösung 0,128m/V
;
;
%TEXT(Schleifscheibe)
DEF F000=Analogwert0
DEF F003=Analogwert1
DEF F002=Sollwert_m_pro_s
DEF F005=Umfang_m
DEF F007=Sollwert U_pro_min
DEF F009=Sollwert_in_Hz
END

;F002=ISA0 Sollwert im m/s, Hilfsvariablen (F000-001)
;F005=ISA1 Istwert im m, Hilfsvariablen (F003-004)

%P00
;Sollwert und Istwerbestimmung
```

```
N010 SET F000=PARA[416]; Analogwert 0 holen
N015 SET F000*2.45;      Normierung in m/s
N020 SET F001=F000
N021 SET F001+10;        Sollwert in m/s +Offset von 10m/s
N022 SET F002=F001;      Sollwert sichern

N030 SET F003=PARA[417]; Analogwert 1 holen
N035 SET F003*0.128;     Normierung in m
N040 SET F004=3.01;      max. Umfang = 3.01m
N041 SET F004-F003;      Istwert Umfang in m
N042 SET F005=F004;      aktueller Umfang in m

;Berechnung Sollwert in m/s
N050 SET F006=F002
N055 SET F006*60;        Umrechnung m/min
N065 SET F006:F005;      Umrechnung in Umdrehungen/min an der
;                        Schleifscheibe
N070 SET F007=F006;      Sollwert sichern in F007

;Berechnung Drehzahl -> Frequenz
N100 SET F008=F007;      Drehzahl holen
N110 SET F008*2;         Getriebe-Untersetzung 1:2
;                        berücksichtigen
N115 SET F008:20;        Drehfeldfrequenz berechnen:
;                        f=n*pp/60, pp=3
N120 SET F009=F008;      Sollwert in Hz sichern

N150 SET REFFRQ=F009;    Frequenzsollwert vorgeben

N250 JMP N010
END                      ;Programmende
```

Weitere typische Anwendungen sind Wickelantriebe mit Durchmesserregelung.

3.4.10 Geringe Motorverluste durch CDA3000 mit Hochfrequenz-PWM

Warum ist die Modulation des PWM-Signals so entscheidend? Mit dem PWM-Muster der Ausgangsspannung wird der sinusförmige Stromverlauf des Motorstromes an einer Induktivität nachgebildet. Je mehr die Sinusform durch schlechte PWM-Muster verfälscht wird, desto höher ist der Oberwellengehalt. Fest steht, dass nur die Grundwelle effektive Leistung umsetzt. Die harmonischen Oberwellen führen zu zusätzlichen Ummagnetisierungsverlusten und verursachen unnötige Wärmeverluste. Dies ist gerade für die kompakten Schnelllaufspindeln thermisch kritisch.

Mit der heute zur Verfügung stehenden Technologie an Microcontrollern können bereits verschiedene PWM-Verfahren erzeugt werden. Die Umrichterfamilie CDA3000-HF der c-line DRIVES verwendet den leistungsstarken Microcontroller Siemens SAB80C167. Trotzdem reichen die Ressourcen des Microcontrollers C167 alleine nicht aus, die Anforderung einer HF ... PWM zu erfüllen.

Durch die geschickte Kopplung von zwei Modulationseinheiten (C167 und CPLD)[1)] wurde die Berechnung des Spannungsraumzeigers auf das 2fache der Endstufentaktfrequenz (max. 32 kHz) erhöht und eine genaue Berechnung beider PWM-Flanken möglich.

Das Ergebnis spiegelt sich positiv in dem geringen Oberwellengehalt des Motorstromes wider. Die Erwärmung des Motors wird deutlich verringert. In dem dargestellten Diagramm (siehe Bild 3.65) wurde zur besseren Verdeutlichung die Messung der Oberwellen, bezogen auf die Grundwelle des Motorstroms, durchgeführt. Die Beeinflussungen der Fourie-Analyse des Stroms durch Filter und Motor an sich, sind in dieser praxisnahen Messung von geringer Bedeutung.

1) (CMOS programmable Logic Device)

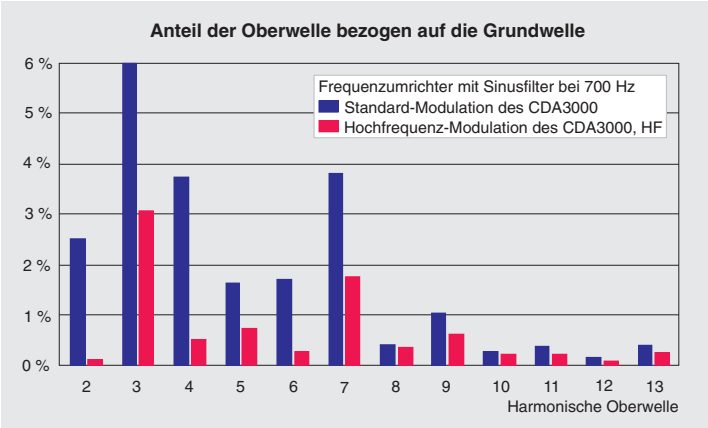


Bild 3.65 Reduzierung der Stromoberwellen durch CDA3000 mit HF-Modulationsverfahren

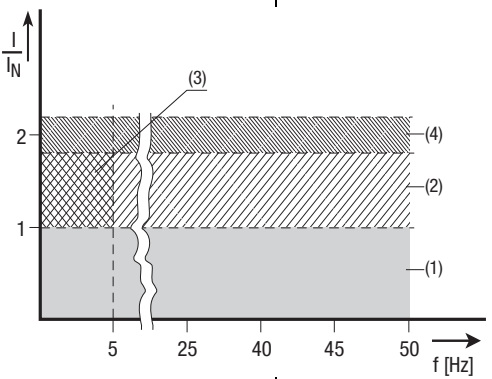
Das Einsatzgebiet von hochfrequenten Antrieben wie Schnelllaufspindeln erstreckt sich über ein breites Spektrum. Angefangen in der Holzverarbeitungsindustrie als Hauptantrieb, in der Metallbearbeitung als Schleif- und Frässpindelantrieb, als Zentrifugenantrieb in der Medizintechnik, als Vakuumpumpenantrieb, als Kühlgebläseantrieb in der Lasertechnik oder nicht zuletzt in der Textilindustrie als Wicklerantrieb. Die Anwendungen sind vielfältig, doch es bleibt die Frage: wie wirkt sich die Temperaturreduzierung in der Praxis aus? Welche Vorteile ergeben sich z. B. für den Anlagenbetreiber der Werkzeugmaschine? Hier muss man nicht lange überlegen, denn eine Temperaturreduzierung wirkt sich in diesem Segment vor allem in der Produktivität der Maschine aus. Nachfolgend sind einige markante Punkte für Werkzeugmaschinenantriebe aufgeführt, die in ähnlicher Weise auch auf die vorgenannten Antriebe zutreffen:

- Höhere Genauigkeit bei der Bearbeitung durch geringes Längenwachstum der Motorwelle
- Höhere Rundlaufgüte und damit mehr Laufruhe sorgen für bessere Schliffbilder
- Höhere Lebensdauer der Präzisionslager und der Schmieröle verlängern die Wartungsintervalle
- Reduzierte Spannungsbeanspruchung der Wicklungsisolation erhöht die Verfügbarkeit

3.5 c-line Positionierregler CDE/ CDB3000

3.5.1 Strombelastbarkeit der Positionierregler CDE/ CDB3000

Der maximal zulässige Positionierregler-Ausgangsstrom und der Spitzenstrom sind abhängig von der Netzspannung, der Motorleitungslänge, der Endstufenschaltfrequenz und der Umgebungstemperatur. Ändern sich die Einsatzbedingungen, so ändert sich auch die maximal zulässige Strombelastbarkeit der Positionierregler, siehe dazu nachfolgende Kennlinien und Tabellen.



** Aussetzbetrieb $I_N > I_{eff}$*

$$I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \Sigma_{i=1}^{n} I_i^2 \cdot t_i}$$

(1) Dauerbetrieb

(2) Aussetzbetrieb* > 5 Hz Drehfeldfrequenz
Positionierregler 0,7 bis 15 kW (CDE/CDB)
I/I_N = 1,8 für 30 s bei 4/8/16 kHz
Positionierregler 45 bis 170 A (CDE)
I/I_N = 2,0 für 3 s bei 4/8 kHz
Positionierregler 22 bis 90 kW (CDB)
I/I_N = 1,5 für 30 s bei 4/8 kHz

(3) Aussetzbetrieb* 0 bis 5 Hz Drehfeldfrequenz
Positionierregler 0,7 bis 15 kW (CDE/CDB)
I/I_N = 1,8 für 30 s bei 4 kHz
I/I_N = 1,25 - 1,8 für 30 s bei 8 kHz
Positionierregler 45 bis 170 A (CDE)
I/I_N = 2,0 für 3 s bei 4/8 kHz
Positionierregler 22 bis 90 kW (CDB)
I/I_N = 1,5 für 30 s bei 4 kHz
I/I_N = 1,0-1,15 für 30 s bei 8 kHz

(4) Impulsbetrieb
Positionierregler 0,7 bis 15 kW
I/I_N = ca. 2,2 bei 4/8/16 kHz
Positionierregler 45 bis 170 A (CDE)
I/IN = ca. 2,2 bei 4/8 kHz
Positionierregler 22 bis 90 kW (CDB)
I/I_N = ca. 1,8 bei 4/8 kHz

Positionierregler für 230 V-Netze

Positionier-modul	Empf. 4-poliger Normmotor [kW]	Schaltfrequenz der Endstufe [kHz]	Nennstrom [A]	Spitzenstrom für Aussetzbetrieb 0 bis 5 Hz [A]	Spitzenstrom für Aussetzbetrieb > 5 Hz [A]
CDE/CDB32.003,Cx.x	0,37	4 8 12 16	2,4 2,4 2,1 1,8	4,3 4,3 3,75 3,2	4,3 4,3 3,75 3,2
CDE/CDB 32.004,Cx.x[1)]	0,75	4 8 12 16	4 4 3,5 3	7,2 7,2 5,7 5,0	7,2 7,2 6,3 5,4
CDB32.008,Cx.x[1)] CDE/CDB 32.008,Wx.x	1,5	4 8 12 16	7,1 7,1 6,3 5,5	12,8 12,8 10 8	12,8 12,8 11,35 9,9

Spitzenstrom für 30 s bei Positionierregler 0,375 bis 1,5 kW / 2,4 bis 7,1 A

Kühllufttemperatur 45 °C (40 °C CDB32.008,Cx.x)
bei Endstufenschaltfrequenz 4 kHz
40 °C bei Endstufenschaltfrequenz 8, 16 kHz

1) mit Kühlkörper HS3... oder zusätzlicher Kühlfläche

Netzspannung 1 x 230 V -20 % +15 %
Motorleitungslänge 10 m
Montagehöhe 1000 m über NN
Montageart angereiht

Tabelle 3.39 Positionierregler für 230 V-Netze

Positionierregler für 400/460 V-Netze:

Positionier-modul	Empf. 4-poliger Normmotor [kW]	Schaltfre-quenz der Endstufe [kHz]	Nennstrom I_N [A] bei 400 V	Nennstrom I_N [A] bei 460 V	Spitzenstrom für Aussetz-betrieb 0 bis 5 Hz [A]	Spitzenstrom für Aussetz-betrieb > 5 Hz [A]
CDE/CDB 34.003,Cx.x	0,75	4 8 12 16	2,2 2,2 1,6 1,0	2,2 2,2 1,6 1,0	4 4 2,9 1,8	4 4 2,9 1,8
CDE/CDB 34.005,Wx.x	1,5	4 8 12 16	4,1 4,1 3,2 2,4	4,1 3,6 - -	7,4 7,4 5,7 4,3	7,4 7,4 5,7 4,3
CDE/CDB 34.006,Wx.x	2,2	4 8 12 16	5,7 5,7 4,15 2,6	5,7 5,7 - -	10,3 10,3 (CDE)/ 7,8 (CDB) 7,5 (CDE)/ 6,4 (CDB) 4,7	10,3 10,3 7,5 4,7
CDE/CDB 34.008,Wx.x	3,0	4 8 12 16	7,8 7,8 6,4 5	7,8 7,8 - -	14 14 11 7,8	14 14 11 9
CDE/CDB 34.010,Wx.x	4,0	4 8 12 16	10 10 8,1 6,2	10 8,8 - -	18 18 13 7,8	18 18 14,5 11
CDE/CDB 34.014,Wx.x	5,5	4 8 12 16	14 14 10,3 6,6	14 12,2 - -	25 25 18 12	25 25 18 12
CDE/CDB 34.017,Wx.x	7,5	4 8 12 16	17 17 12,5 8	17 13,5 - -	31 31 23 14	31 31 23 14
CDE/CDB 34.024,Wx.x	11	4 8 12 16	24 24 19,5 15	24 24 - -	43 43 35 27	43 43 35 27

Kühllufttemperatur 45 °C (40 °C CDB34.003,Cx.x) bei Endstufenschaltfrequenz 4 kHz
40 °C bei Endstufenschaltfrequenz 8, 16 kHz

Motorleitungslänge 10 m
Montagehöhe 1000 m über NN
Montageart angereiht

[1] Geräte lieferbar ab dem 3. Quartal 2006.

[2] Lag bei Redaktionsschluss noch nicht vor.

Tabelle 3.40 Positionierregler für 400/460 V-Netze

Positionier-modul	Empf. 4-poliger Normmotor [kW]	Schaltfre-quenz der Endstufe [kHz]	Nennstrom I_N [A] bei 400 V	Nennstrom I_N [A] bei 460 V	Spitzenstrom für Aussetz-betrieb 0 bis 5 Hz [A]	Spitzenstrom für Aussetz-betrieb > 5 Hz [A]
CDE/CDB 34.032,Wx.x	15	4 8 12 16	32 32 26 20	32 28 - -	58 58 39 32	58 58 47 36
CDE34.044,Wx.x	-	4 8	45	45	90	90
CDE34.058,Wx.x	-	4 8	60	60	120	120
CDE34.070,Wx.x	-	4 8	72	72	144	144
CDE34.088,Wx.x[1)]	-	4 8	90	90	[2)]	180
CDE34.108,Wx.x[1)]	-	4 8	110	110	[2)]	220
CDE34.140,Wx.x[1)]	-	4 8	143	143	[2)]	286
CDE34.168,Wx.x[1)]	-	4 8	170	170	[2)]	306
CDB34.044,Wx.x	22 kW	4 8	45 45	45 45	67 52	67 67
CDB34.058,Wx.x	30 kW	4 8	60 60	60 60	90 60	90 90
CDB34.070,Wx.x	37 kW	4 8	72 72	72 72	108 74	108 108
CDB34.088,Wx.x[1)]	45 kW	4 8	90 90	90 90	[2)]	135 135
CDB34.108,Wx.x[1)]	55 kW	4 8	110 110	110 110	[2)]	165 165
CDB34.140,Wx.x[1)]	75 kW	4 8	143 143	143 143	[2)]	215 215
CDB34.168,Wx.x[1)]	90 kW	4 8	170 170	170 170	[2)]	255 255

Kühllufttemperatur 45 °C (40 °C CDB34.003,Cx.x) bei Endstufenschaltfrequenz 4 kHz
40 °C bei Endstufenschaltfrequenz 8, 16 kHz

Motorleitungslänge 10 m
Montagehöhe 1000 m über NN
Montageart angereiht

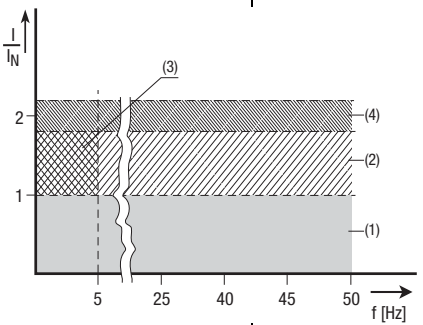
[1)] Geräte lieferbar ab dem 3. Quartal 2006.

[2)] Lag bei Redaktionsschluss noch nicht vor.

Tabelle 3.40 Positionierregler für 400/460 V-Netze

3.6 c-line Servo- und Direktantriebsregler CDD3000

3.6.1 Strombelastbarkeit der Servo- und Direktantriebsregler



(1)Dauerbetrieb

(2)Aussetzbetrieb* > 5 Hz Drehfeldfrequenz

Servoregler 2,4 A bis 32 A:
I/I_N = **1,8** (für 30 s bei 4 kHz)
I/I_N = **1,8** (für 30 s bei 8 kHz)
I/I_N = **1,8** (für 30 s bei 16 kHz)
Servoregler 45 A bis 170 A:
I/I_N = **1,5** (für 60 s bei 4 kHz)
I/I_N = **1,5** (für 60 s bei 8 kHz)

(3)Aussetzbetrieb* 0 bis 5 Hz Drehfeldfrequenz

Servoregler 2,4 A bis 32 A:
I/I_N = **1,8** (für 30 s bei 4 kHz)
I/I_N = **1,25 - 1,8** (für 30 s bei 8 kHz)
Servoregler 45 A bis 170 A:
I/I_N = **1,5** (für 60 s bei 4 kHz)
I/I_N = **1 - 1,5** (für 60 s bei 8 kHz)

(4)Impulsbetrieb

Servoregler 2,4 A bis 32 A:
I/I_N = **ca. 2,2** (bei 4, 8, 16 kHz)
Servoregler 45 A bis 170 A:
I/I_N = **ca. 1,8** (bei 4, 8 kHz)

*Aussetzbetrieb $I_N > I_{eff}$, $I_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \Sigma_{i=1}^{n} I_i^2 \cdot t_i}$

Servoregler für 230 V-Netze

Servoregler	Gerätenenn-leistung [kVA]	Schaltfrequenz der Endstufe [kHz]	Nennstrom [A]	Spitzenstrom für Aussetzbetrieb 0 bis 5 Hz [A]	Spitzenstrom für Aussetzbetrieb > 5 Hz [A]
CDD32.003,Cx.x	1,0	4 8 16	2,4 2,4 1,8	4,3 4,3 3,2	4,3 4,3 3,2
CDD32.004,Cx.x[1)]	1,6	4 8 16	4 4 3	7,2 7,2 5,4	7,2 7,2 5,4
CDD32.006,Cx.x[1)]	2,2	4 8 16	5,5 5,5 4,3	9,9 9,9 7,7	9,9 9,9 7,7
CDD32.008,Cx.x[1)]	2,8	4 8 16	7,1 7,1 5,5	12,8 12,8 8	12,8 12,8 9,9

Spitzenstrom für 30 s bei Servoregler 2,4 bis 32 A
Kühllufttemperatur: 45 °C bei Endstufenschaltfrequenz 4 kHz
40 °C bei Endstufenschaltfrequenz 8, 16 kHz
1) mit Kühlkörper HS3... oder zusätzlicher Kühlfläche

Netzspannung 1 x 230 V
Motorleitungslänge 10 m
Montagehöhe 1000 m über NN
Montageart angereiht

Tabelle 3.41 Positionierregler für 230 V-Netze

Servoregler für 400/460 V-Netze

Servoregler	Gerätenenn-leistung [kVA]	Schaltfre-quenz der Endstufe [kHz]	Nennstrom I_N [A] bei 400 V[2)]	Nennstrom I_N [A] bei 460 V[3)]	Spitzenstrom für Aussetzbetrieb 0 bis 5 Hz [A]	Spitzenstrom für Aussetzbetrieb > 5 Hz [A]
CDD34.003,Cx.x	1,5	4 8 16	2,2 2,2 1,0	2,2 2,2 1,0	4 4 1,1	4 4 1,8
CDD34.005,Cx.x[1)]	2,8	4 8 16	4,1 4,1 2,4	4,1 3,6 -	7,4 7,4 4,3	7,4 7,4 4,3
CDD34.006,Cx.x[1)]	3,9	4 8 16	5,7 5,7 2,6	5,7 5,7 -	10,3 10,3 4,7	10,3 10,3 4,7
CDD34.008,Wx.x	5,4	4 8 16	7,8 7,8 5	7,8 7,8 -	14 14 7,8	14 14 9

Tabelle 3.42 Positionierregler für 400/460 V-Netze

Servoregler	Gerätenenn-leistung [kVA]	Schaltfre-quenz der Endstufe [kHz]	Nennstrom I_N [A] bei 400 V[2)]	Nennstrom I_N [A] bei 460 V[3)]	Spitzenstrom für Aussetzbetrieb 0 bis 5 Hz [A]	Spitzenstrom für Aussetzbetrieb > 5 Hz [A]
CDD34.010,Wx.x	6,9	4 8 16	10 10 6,2	10 8,8 -	18 16,5 7,8	18 18 11
CDD34.014,Wx.x	9,7	4 8 16	14 14 6,6	14 12,2 -	25 21 9,2	25 25 11,9
CDD34.017,Wx.x	11,8	4 8 16	17 17 8	17 13,5 -	31 21,2 9,2	31 31 14,4
CDD34.024,Wx.x	16,6	4 8 16	24 24 15	24 24 -	43 40 22	43 43 27
CDD34.032,Wx.x	22,2	4 8 16	32 32 20	32 28 -	58 40 22	58 58 36
CDD34.045,Cx.x	32,8	4 8	45 45	45 39	68 54	68 68
CDD34.060,Cx.x	43,8	4 8	60 60	60 52	90 71	90 90
CDD34.072,Wx.x	52,5	4 8	72 72	72 62	112 78	112 112
CDD34.090,Wx.x	65,6	4 8	90 90	90 78	135 104	135 135
CDD34.110,Wx.x	80	4 8	110 110	110 96	165 110	165 165
CDD34.143,Wx.x	104	4 8	143 143	143 124	215 143	215 215
CDD34.170,Wx.x	124	4 8	170 170	170 147	255 212	255 255

Spitzenstrom für 30 s bei Servoregler 2,4 bis 32 A
Spitzenstrom für 60 s bei Servoregler 45 bis 170 A
Kühllufttemperatur: 45 °C bei Endstufenschaltfrequenz 4 kHz
40 °C bei Endstufenschaltfrequenz 8, 16 kHz
Kühlkörper HS3... oder zusätzlicher Kühlfläche

1) mit Motorleitungslänge 10 m
Montagehöhe 1000 m über NN
Montageart angereiht
2) Netzspannung 3 x 400 V ±10 %
3) Netzspannung 3 x 460 V ±10 %

Tabelle 3.42 Positionierregler für 400/460 V-Netze

4 Auswahl der ergänzenden Komponenten

4.1 Auswahl der Netzdrossel 4-2
4.1.1 Nutzen einer dreiphasigen Netzdrossel 4-4
4.1.2 Netzdrossel zur Einhaltung der EN 61000-3-2 4-7
4.2 Auswahl der Bremswiderstände 4-8
4.3 Auswahl der Netzfilter 4-14
4.3.1 Zulässige Motorleitungslänge mit internem Funkentstörfilter 4-14
4.3.2 Zulässige Motorleitungslänge mit externem Funkentstörfilter 4-16
4.4 Auswahl der Motordrossel 4-19
4.4.1 Technische Daten 4-19
4.4.2 Erweiterte Projektierungsregel 4-20
4.5 Auswahl der Motorfilter 4-22
4.5.1 Technische Daten 4-22
4.5.2 Erweiterte Projektierung 4-24

4.1 Auswahl der - Netzdrossel

Funktion	Wirkung
• Der Einsatz der Netzdrossel dient zur Reduzierung der Spannungsverzerrung im Netz. Die einzuhaltenden Grenzwerte für drehzahlveränderliche elektrische Antriebe werden in der Norm EN 61800-3 bzw. IEC1800-3 beschrieben. • Natürlich bietet die Netzdrossel auch einen Schutz vor transienten Netzspannungsspitzen.	• Reduzierung der Spannungsverzerrung (THD)[1] • Reduzierung der Kommutierungseinbrüche • Reduzierung der Amplitude des Netzladestroms • Erhöhung der Lebensdauer der Zwischenkreiskondensatoren (Elkos) • Bedämpfung transienter Spannungsspitzen aus verschmutzten Netzen

1) THD = Total Harmonic Distortion

Die Verwendung der Netzdrossel ist erforderlich:

1. Bei Einsatz der Antriebsregler in Industrienetzen der Umgebungsklasse 3, laut EN 6100-2-4 und darüber (rauhe Industrieumgebung).

Die Umgebungsklasse 3 ist unter anderem gekennzeichnet durch:

- Netzspannungsschwankungen > $\pm$10 % U_N
- Kurzzeitunterbrechungen zwischen 10 ms bis 60 s
- Kurzzeitspannungsunsymmetrie > 3 %

Die Umgebungsklasse 3 ist typischerweise dann gegeben, wenn:

- ein Hauptanteil der Last durch Stromrichter (Gleichstromsteller oder Sanftanlaufgeräte) gespeist wird,
- Schweißmaschinen vorhanden sind,
- Induktions- oder Lichtbogenöfen vorhanden sind,
- große Motoren häufig gestartet werden und
- Lasten schnell schwanken.

2. Zur Einhaltung der Grenzwerte (EN 61800-3) für drehzahlveränderliche Antriebssysteme (PDS), die für den Einsatz in industrieller Umgebung (2. Umgebung) vorgesehen sind. Der Nachweis kann nur durch „Vor-Ort-Messungen“ geführt werden.

Grundlage und Begriffsdefinition zu diesem Thema können sie dem Kapitel 5.3 entnehmen.

3. Bei der Zwischenkreiskopplung mehrerer Antriebsregler. Weiteres zu diesem Thema können Sie Kapitel 3.2.20, „DC-Verbundbetrieb“, entnehmen.

4. Zum Betrieb von Antriebsreglern größerer Leistungen, wie z. B. bei der Antriebsreglerbaureihe CDA3000 und CDD3000 ab 30 kW.
5. Wenn die Antriebsregler CDE/CDB3000 ab 22 kW mit externen Netzfiltern betrieben werden. Genaue Angaben entnehmen Sie bitte der gültigen Betriebsanleitung.

4.1.1 Nutzen einer dreiphasigen Netzdrossel

Nachfolgend wird am Beispiel eines 4 kW Antriebsreglers aufgezeigt, welchen Nutzen eine dreiphasige Netzdrossel mit 4 % Kurzschlussspannung in der Anwendung hat.

Für die Berechnung wurde eine Netzimpedanz von 0,6 mH angenommen. Dieser Wert ergibt sich aus der IEC1800-3 Abs. 6.1.2 (Kurzschlussstrom des Netzes = 250facher Grundwellenstrom der Last).

Für die Berechnung, bei Einsatz einer Netzdrossel, wurde eine Gesamtnetzimpedanz von 6 mH angenommen. Dieser Wert ergibt sich aus der IEC1800-3 Abs. 6.1.2 und der Verwendung einer Netzdrossel mit 4 % Kurzschlussspannung (U_K).

Oberwellenbelastung

Oberwelle	Anteil ohne Netzdrossel	Anteil mit Netzdrossel	Amplitude ohne Netzdrossel	Amplitude mit Netzdrossel
1 (Grundwelle)	100 %	100 %	8,58 A	8,31 A
5	76 %	30 %	6,4 A	2,55 A
7	57 %	8,9 %	4,9 A	0,74 A
11	21 %	6 %	1,85 A	0,5 A
13 bis 41	36 %	10,9 %	3,15 A	0,91 A

Tabelle 4.1 Anteil der oberwellenbedingten Ströme am Beispiel eines 4 kW-Antriebsreglers

Netzbelastung

	ohne Netzdrossel	mit Netzdrossel	Veränderung
	4 kW-Antriebsregler, Netzimpedanz 0,6 mH	4 kW-Antriebsregler, Netzimpedanz 6 mH	ohne Netzdr./ mit Netzdr.
Spannungsverzerrung (THD)	99 %	33 %	-67 %
Netzstrom Amplitude	18,9 A	9,7 A	-48 %
Netzstrom effektiv	8,5 A	6,23 A	-27 %
Kommutierungseinbrüche bezogen auf die Netzspannung	28 V	8 V	-70%
Lebensdauer der Zwischenkreiskondensatoren (Elkos)	Nennlebensdauer	2- bis 3fache Nennlebensdauer	+200 bis 300 %

Tabelle 4.2 Veränderung der Netzbelastung durch Einsatz einer Netzdrossel mit 4 % Kurzschlussspannung am Beispiel eines 4 kW-Antriebsreglers

Die gesamte Spannungsverzerrung THD wird aus den einzelnen Spannungsoberwellen nach folgender Formel berechnet:

$$THD = \frac{\sqrt{U_5^2 + U_7^2 + .. U_{41}^2}}{U_{eff}}$$

U_n in % von $U_{Grundwelle}$

Netzspannungsunsymmetrie

	ohne Netzdrossel			mit Netzdrossel		
	4 kW-Antriebsregler, Netzimpedanz 0,6 mH			4 kW-Antriebsregler, Netzimpedanz 6 mH		
Netzspannungsunsymmetrie	0 %	+3 %	-3 %	0 %	+3 %	-3 %
Netzstromamplitude	18,9 A	25,4 A	25,1 A	9,7 A	10,7 A	11 A
Netzstrom effektiv	8,5 A	10,5 A	10,2 A	6,2 A	6,7 A	6,8 A

Tabelle 4.3 Wirkung der Netzdrossel bei unsymmetrischer Netzspannung am Beispiel eines 4 kW-Antriebsreglers

Die Netzspannungsunsymmetrie darf laut IEC1000-2-4 nur 2 % betragen.

Fazit Das Beispiel hat aufgezeigt, dass der Nutzen einer Netzdrossel mit 4 % Kurzschlussspannung vielschichtig ist, so dass sie in keiner Maschine oder Anlage fehlen sollte.

In den Antriebsreglern CDE/CDB3000, ab 22 kW/44 A, werden keine Elektrolyt-Kondensatoren im Zwischenkreis eingesetzt. Die Geräte sind mit einem schmalen Zwischenkreis aus Metallkunststoffpropylen-Kondensatoren ausgerüstet.
Die Antriebsregler mit MKP-Kondensatoren verursachen geringere Netzladeströme und Netzrückwirkungen.

Thema	CDA/D3000 (22 - 37 kW)	CDE/B3000 (22 - 37 kW)
Verwendete Kondensatoren	Elektrolyt - Kondensatoren (Elko)	Metallkunststoffpropylen- (MKP)-Kondensatoren (Folienkondensatoren)
Allgemeiner Sprachgebrauch	Elko - Zwischenkreis (dicker Zwischenkreis)	Schmaler Zwischenkreis
Lebensdauer Kondensatoren	Begrenzt, je nach Anwendungsfall 20.000 bis 60.000 Studen	> 100.000 Stunden
Temperaturbeständigkeit	normal	Erhöhte Temperaturbeständigkeit gegenüber Elkos
Spannungsfestigkeit	normal	Erhöhte Spitzenspannungsfestigkeit und Selbstheilung
Netzrückwirkung	Die 5. Harmonische des Stromes kann durch die Netzdrossel auf ca. 35% begrenzt werden.	Die 5. Harmonische des Stromes kann durch die Netzdrossel auf ca. 25 % begrenzt werden.
ZK-Welligekit	normal	Höhere Welligkeit, wie mit Elko-ZwischenkreisL

Tabelle 4.4 Zwischenkreiskonzepte

4.1.2 Netzdrossel zur Einhaltung der EN 61000-3-2

Antriebsregler, Positionier- und Servoregler sind im Sinne der EN 61000 „professionelle Geräte“, so dass sie bei einer Nennleistung ≤ 1 kW in den Geltungsbereich der Norm fallen.

Bei direktem Anschluss von 1-phasigen Antriebsgeräten ≤ 1 kW an das öffentliche Niederspannungsnetz (Umgebung 1) sind entweder Maßnahmen zur Einhaltung der Norm zu treffen oder das zuständige Energieversorgungsunternehmen muss eine Anschlussgenehmigung erteilen.

Nachfolgende Tabelle zeigt die max. zulässigen Amplituden der Stromoberwellen für 1-phasige Antriebsgeräte mit Anschlussleitung ≤ 1 kW, nach EN 61000-3-2.

Oberwellenordnung	zulässiger Grenzwert [A]
3	2,30
5	1,14
7	0,77
9	0,40
11	0,33
13	0,21
15	0,15
17	0,13

Tabelle 4.5 Max. zulässige Amplituden der Stromoberwellen

Einhaltung der Norm EN 61000-3-2 mit Netzdrossel

Die Einhaltung der Norm EN 61000-3-2 ist bis zu einer Motornennleistung von ca. 550 W (4-poliger Normmotor) möglich. Hierzu müssen Sie eine einphasige Netzdrossel (z. B. Typ: LR32.5) mit 6 %[1)] Kurzschlussspannung einsetzen.

Achtung: Für einphasige PWM-Antriebsregler mit Anschlussleistung > 550 W kann die Norm EN 61000-3-2 nur eingehalten werden, wenn ein aktiver Netzgleichrichter zur sinusförmigen Netzstromentnahme eingesetzt wird. Man spricht in der Praxis von PWM-Antriebsreglern mit einem sogenannten PFC[2)] (Power Factor Controller).

1) UK = 6 % entspricht bei 230 V = 13,8 V

2) Ein PFC ist nach dem Prinzip eines Hochsetzstellers aufgebaut. Charakteristisch für eine solche aktive Eingangsbeschaltung ist, dass die Ausgangsspannung des PFC immer höher ist als die Eingangsspannung (Netz).

4.2 Auswahl der - Bremswiderstände

Im generatorischen Betrieb, z. B. beim Abbremsen des Antriebs, speist der Motor Energie in den Antriebsregler zurück. Dadurch steigt die Spannung im Gleichspannungszwischenkreis. Wenn die Spannung einen zulässigen Wert überschreitet, wird der interne Bremstransistor eingeschaltet und die generatorische Energie über den extern angeschlossenen Bremswiderstand in Wärme umgewandelt.

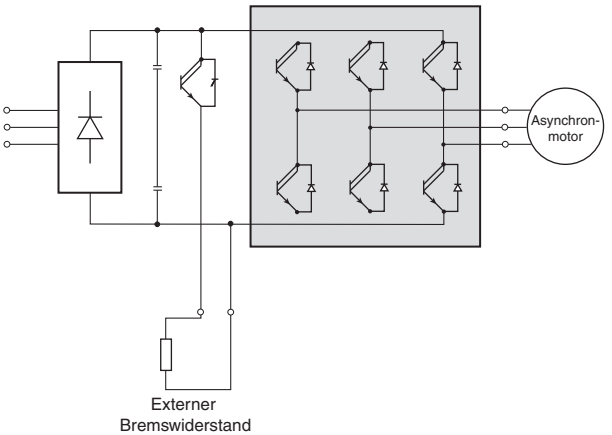


Bild 4.1 Blockschaltbild eines Antriebsreglers mit Bremschopper

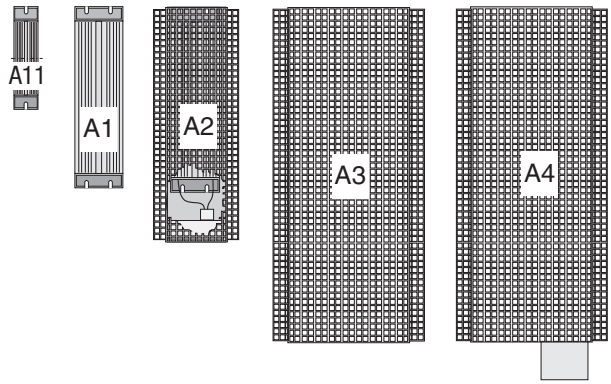
Technische Daten / Bauart	gem. Abbildung A1 und A11	gem. Abbildung A2	gem. Abbildung A3 und A4
Oberflächentemperatur	> 200 °C	< 80 °C	< 80 °C
Berührschutz	nein	ja (< 80 °C)	ja (< 80 °C)
Spannung	max. 800 V	max. 800 V	max. 800 V
Hochspannungsfestigkeit	4000 V	4000 V	1800 V
Temperaturüberwachung	ja, mit Bimetallprotektor (Schaltleistung 0,5 A/230 V)		
Abnahmen	CE-konform		
UL-Recognition	auf Anfrage		nein
Anschluss	1 m lange PTFE-isolierte Litze	Keramikklemmen	Keramikklemmen
Abbildungen			

Tabelle 4.6 Technische Daten der Bremswiderstände

Bremswiderstand Techn.Daten / Bestellbez.	Dauerbrems-leistung [W]	Widerstand [6] [Ω ±10 %]		Spitzenbremsleistung [W] 390 VDC[1]	Spitzenbremsleistung [W] 750 VDC[2]	Schutzart	Abbildung
BR-270.01, 540[4]	35	270	(243)	560	2080	IP23	A11
BR-160.01, 540[4]	35	160	(144)	950	[3]	IP23	A11
BR-090.01, 540[4]	35	90	(81)	1690	[3]	IP23	A11
BR-110.01, 540[4]	35	110	(99)	1380	[3]	IP23	A11
BR-110.02, 540[4]	150	110	(99)	1380	5110	IP23	A1
BR-200.02, 540[4]	150	200	(180)	760	2810	IP23	A1
BR-270.02, 540[4]	150	270	(243)	560	2080	IP23	A1
BR-160.02, 540[4]	150	160	(144)	950	3500	IP23	A1
BR-110.03, 541	300	110	(99)	1380	5110	IP23[5]	A2
BR-200.03, 541	300	200	(180)	760	2810	IP23[5]	A2
BR-270.03, 541	300	270	(243)	560	2080	IP23[5]	A2
BR-160.03, 541	300	160	(144)	950	3500	IP23[5]	A2
BR-090.03, 541	300	90	(81)	1690	6250	IP23[5]	A2
BR-090.10, 201	1000	90	(81)	1690	6250	IP20	A3
BR-090.10, 541	1000	90	(81)	1690	6250	IP23[5]	A4
BR-042.20, 201	2000	42	(37,5)	-	13390	IP20	A3
BR-042.20, 541	2000	42	(37,5)	-	13390	IP23[5]	A4
BR-015.60, 541	6000	15	(13,5)	-	37500	IP23[5]	A4
BR-010.80, 541	8000	10	(9)	-	56250	IP23[5]	A4

Tabelle 4.7 Technische Daten der Bremswiderstände

Bei Auswahl der Bremswiderstände muss darauf geachtet werden, dass bei c-line DRIVES Antriebsreglern der minimale zulässige Widerstandsanschlusswert ohne weitere Toleranz angegeben wird.

1) 1 x 230 V Netzanschluss -20 % +15 %
2) 3 x 460 V Netzanschluss -25 % +10 %
3) Für den Betrieb an Antriebsreglern mit 3 x 400/460 V Netzanschluss nicht zulässig.
4) Die Bremswiderstände können bei optimaler Kühlung mit zweifacher Dauerbremsleitung betrieben werden.
   Bitte fragen Sie Ihren Projekteur.
5) Anschlussgehäuse in IP54
6) minimaler Widerstandswert in Klammer angegeben

Auf Anfrage sind auch Sonderausführungen in unterschiedlichen Längen mit verschiedenen Klemmen und/oder Mehrfachmodule erhältlich.

Berechnung der effektiven Bremsleistung

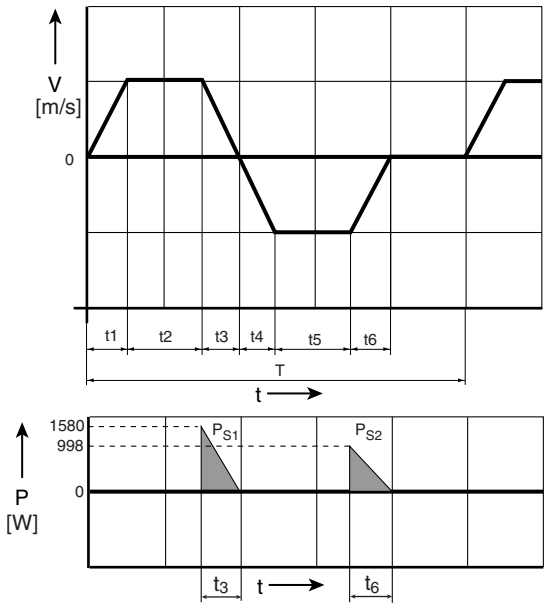


Bild 4.2 Effektive Bremsleistung

$$P_D = \frac{t_3 + t_6}{T} \cdot \frac{P_{S1} + P_{S2}}{2} = [W]$$

P_S = Spitzenbremsleistung
P_D = Dauerbremsleistung
T = Zykluszeit (Arbeitsspiel)
t1 = 0,2 s
t2 = 3 s
t3 = 0,2 s
t4 = 0,2 s
t5 = 3 s
t6 = 0,2 s
T = 8,4 s

Die Zykluszeit T muss < 150 s sein.

Beispiel: Berechnungsbeispiel zu Bild 4.2

- Antriebsregler CDA34.005
- Minimaler Ohm'scher Widerstand eines externen Bremswiderstandes 180 Ω
- Belastungszyklus siehe Bild 4.2

1. Berechnung

$$P_D = \frac{t_3 + t_6}{T} \cdot \frac{P_{S1} + P_{S2}}{2}$$

$$P_D = \frac{0{,}2\ s + 0{,}2\ s}{8{,}4\ s} \cdot \frac{1580\ W + 998\ W}{2} = 61{,}4\ W$$

2. Wahl des Bremswiderstandes

Gewählt wurde der Bremswiderstand BR-270.02,540

Spitzenbremsleistung:	2080 W
Dauerbremsleistung:	150 W
Minimaler Widerstandswert:	243 Ω (270 Ω -10 %)

Der Widerstandswert darf nicht kleiner sein als der minimale Ohm'sche Anschlusswert, den der Antriebsregler zulässt.

Bestimmung der Dauerbremsleistung eines Antriebsregler mit integriertem Bremswiderstand siehe Kapitel 3.2.22.

Parallel-/Reihenschaltung von Bremswiderständen

Durch eine Parallelschaltung von Bremswiderständen kann die Spitzenbremsleistung an den Anwendungsfall angepasst werden.

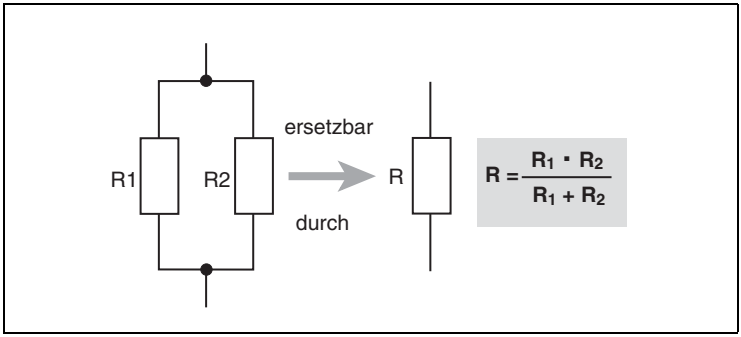


Bild 4.3 Parallelschaltung von zwei Widerständen

Durch eine Reihenschaltung kann die Dauerbremsleistung an den Anwendungsfall angepasst werden.

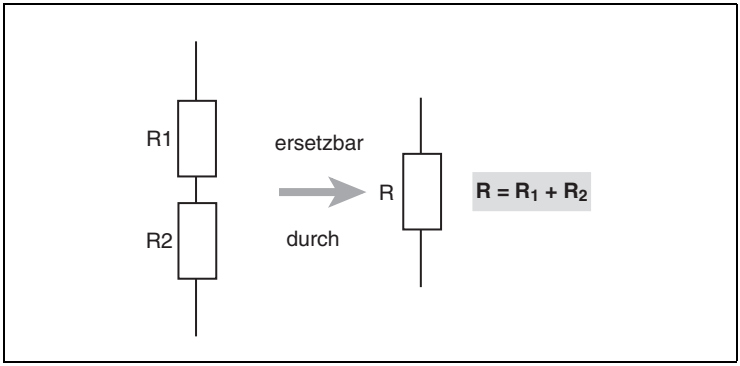


Bild 4.4 Reihenschaltung von zwei Widerständen

$$P_S = \frac{U^2}{R_{BR}}$$

P_S = Spitzenbremsleistung in [W]
U = Zwischenkreisspannung in [V] (390 V oder 750 V)
R_{BR} = Widerstandswert des Bremswiderstandes in [Ω]

Bild 4.5 Berechnung der Spitzenbremsleistung

4.3 Auswahl der Netzfilter

Details zum Thema „Elektromagnetische Verträglichkeit“ können Sie dem Kapitel 5.5 entnehmen.

4.3.1 Zulässige Motorleitungslänge mit internem Funkentstörfilter

Antriebsregler	4 kHz-Endstufentaktfrequenz		8 kHz-Endstufentaktfrequenz		16 kHz-Endstufentaktfrequenz	
	Mit integriertem Netzfilter		Mit integriertem Netzfilter		Mit integriertem Netzfilter	
	Industriebereich	Wohnbereich	Industriebereich	Wohnbereich	Industriebereich	Wohnbereich
CDE/B32.003	1)	1)	20	10	25	10
CDE/B32.004	1)	1)	20	10	25	10
CDE/B32.006	25	10	20	10	25	10
CDE/B32.008	25	10	20	10	25	10
CDE/B34.003	10	10	25	10	1)	1)
CDE/B34.005	10	10	25	10	25	1)
CDE/B34.006	10	10	25	10	25	1)
CDE/B34.008	25	10	25	10	25	1)
CDE/B34.010	25	10	25	10	25	1)
CDE/B34.014	1)	10	25	10 2)	25	1)
CDE/B34.017	1)	10	25	10 2)	25	1)
CDE/B34.044	25	10	25	10	-	-
CDE/B34.058	25	10	25	10	-	-
CDE/B34.070	25	10	25	10	-	-

Tabelle 4.8 Zulässige Motorleitungslänge mit integriertem Netzfilter in Abhängigkeit der Norm 61800-3

Erklärungen zur Tabelle 4.8

Wohnbereich:	Grenzwert nach EN 61800-3 (Kategorie C2), eingeschränkte Erhältlichkeit. Weiteres zu diesem Thema können Sie Kapitel 5.5 entnehmen. Maximal zulässige Motorleitungslänge, bei der die Störaussendung (>9 kHz) unter den zulässigen Grenzwerten liegt. Es wurden bei den Messungen nur 10 m überprüft.
Industriebereich:	Grenzwert nach EN 61800-3 (Kategorie C3), eingeschränkte Erhältlichkeit. Weiteres zu diesem Thema können Sie Kapitel 5.5 entnehmen. Maximal zulässige Motorleitungslänge, bei der die Störaussendung (>9 kHz) unter den zulässigen Grenzwerten liegt. Es wurden bei den Messungen nur 25 m überprüft.
1)	Die Störaussendung lag bei 10 m und/oder 25 m über den von der Norm vorgeschriebenen Grenzwerten. Das bedeutet aber nicht, dass das Netzfilter nicht wirkt, sondern nur, dass es nicht optimal über das ganze Frequenzband wirkt. Zur Einhaltung der Norm muss daher ein externes Netzfilter verwendet werden.
2)	Zur Einhaltung der Norm müssen Netzdrosseln (u_K = 4 %) eingestellt werden.
12 kHz-Endstufentaktfrequenz	Bei 12 kHz-Endstufentaktfrequenz müssen externe Netzfilter eingesetzt werden, da keine Messergebnisse mit internem Netzfilter vorliegen.
Messverfahren:	Die zulässige Länge der Motorleitung wurde entsprechend der Norm (vorgeschriebenes Messverfahren) ermittelt siehe Kapitel 5.5.3.

Beachten Sie immer die in den Betriebsanleitungen vorgeschriebenen Installationsvorschriften.

4.3.2 Zulässige Motorleitungslänge mit externem Funkentstörfilter

Umgebungsbedingungen	EMCxx.x
Nennspannung	3 x 480 V, max. +10 %, 50/60 Hz
Umgebungstemperatur	typisch -25 °C bis +40 °C, mit Leistungsreduzierung bis 60 °C (1,3 %/°C)
Montagehöhe	1000 m, mit Leistungsreduzierung bis 4000 m (6 %/1000 m)
Relative Luftfeuchte	15 ... 85 %, Betauung ist nicht zulässig
Lager-/Transporttemperatur	-25 °C bis +70 °C/-40 °C bis +85 °C
Schutzart	IP00, Eingang Klemmen VBG4
Zulässiger Verschmutzungsgrad	P2 gemäß EN 61558-1
UL-Recognition	alle Netzfilter haben UL-Recognition für die Märkte USA und Kanada
Funkentstörung entsprechend EN61800-3 (Wohnbereich, Kategorie C2)	Motorleitung bis 100 m zulässig
Funkentstörung entsprechend EN61800-3 (Industriebereich, Kategorie C3)	Motorleitung bis 150 m zulässig

Hinweis: Durch die Verwendung der externen Funkentstörfilter ist bei geringeren Motorleitungslängen auch die „Kategorie C1“ zu erreichen. Wenn dieses für Sie von Bedeutung ist, dann sprechen Sie unsere Vertriebsingenieure oder Ihren Projekteur an.

Dreiphasige Netzfilter für Seitenanbau						
Techn.Daten. / Bestell-bez.	geeignet für Antriebsregler	Nenn-strom [A]	Verlust-leistung ges. [W]	Ableitstrom [mA]	Gewicht [kg]	Anschluss-klemmen [mm²]
EMC 10.0	CDA/CDD/CDE/CDB34.008 CDA/CDD/CDE/CDB34.010	10	13	< 1,2	1,7	0,2...4, PE M5
EMC 17.0	CDA/CDD/CDE/CDB34.014 CDA/CDD/CDE/CDB34.017	17	21	< 1,5	1,8	0,2...4, PE M5
EMC 35.0	CDA/CDD/CDE/CDB34.024 CDA/CDD/CDE/CDB34.032	35	27	< 1,2	2,5	0,2...6, PE M5
EMC 50.0	CDA/CDD/CDE/CDB34.044[1) 2)] CDA/CDD/CDE/CDB34.045[1) 2)]	50	31	< 1,6	3,4	0,5...16, PE M5
EMC 63.0	CDA/CDD/CDE/CDB34.058[1) 2)] CDA/CDD/CDE/CDB34.060[1) 2)]	63	53	< 5,5	6,0	0,5...16, PE M6
EMC 80.0	CDA/CDD/CDE/CDB34.070[1) 2)] CDA/CDD/CDE/CDB34.072[1) 2)]	80	68	< 10	6,0	0,75...35, PE M8
EMC 100.0	CDA/CDD34.090[1)]	100	68	< 10	6,0	0,75...35, PE M8
EMC 125.0	CDA/CDD34.110[1)]	125	82	< 10	10,0	16...50, PE M10
EMC 150.0	CDA/CDD34.143[1)]	150	88	< 10	10,0	35...95, PE M10
EMC 180.0	CDA/CDD34.170[1)]	180	150	< 13	15,5	Bolzen M12
EMC 250.0	CDA34.250[1)]	250	180	< 13	18,2	Bolzen M12

1) Die Antriebsregler (CDA34.045 bis CDA34.250) müssen mit Netzdrosseln betrieben werden.

2) Auf Grund der Vorladetechnologie ist bei Antriebsreglern CDE/CDB3000 darauf zu achten, dass die Netzdrossel zwischen Antriebsregler und Netzfilter installiert wird, ansonsten kann der Netzfilter beschädigt werden.

Beachten Sie immer die in den Betriebsanleitungen vorgeschriebenen Installationsvorschriften.

Auszug aus der Betriebsanleitung CDE/CDB3000

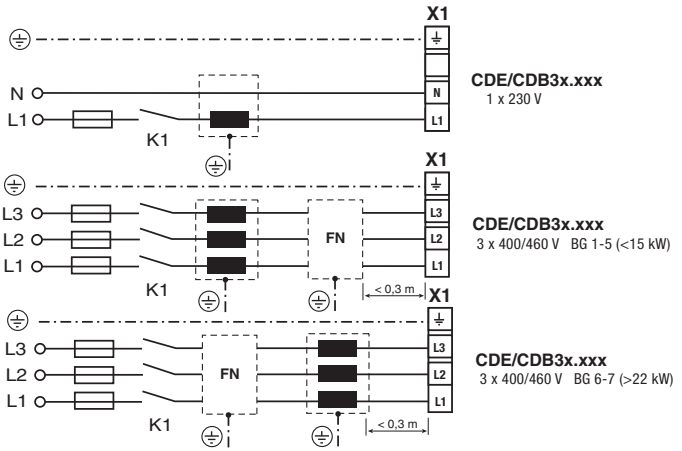


Bild 4.6 Netzanschluss

Achtung: Auf Grund der Vorladetechnologie in der Baugröße 6 und 7 (≥ 22 kW) ist darauf zu achten, dass die Netzdrossel zwischen Antriebsregler und Netzfilter installiert wird, ansonsten kann das Netzfilter beschädigt werden.

Achtung: Lebensgefahr! Elektrische Anschlüsse niemals unter Spannung verdrahten oder lösen! Vor jedem Eingriff ist das Gerät vom Netz zu trennen. Warten Sie, bis die Zwischenkreisspannung an den Klemmen X1/L+ und L- (BG 1-5) bzw. X21/ZK+, ZK- (BG 6-7) auf die Schutzkleinspannung abgesunken ist, bevor Sie am Gerät arbeiten (ca. 10 Min.).

4.4 Auswahl der - Motordrossel

Funktion	Wirkung
• Der Einsatz der Motordrossel dient zur Reduzierung der Spannungssteilheit (du/dt) an den Motorklemmen. • Zusätzlich dient die Motordrossel auch zur Unterdrückung von Störungen, welche durch Schalten in der Motorleitung verursacht werden.	• Reduziert die Spannungssteilheit (du/dt) an der Motorwicklung auf < 1000 V/µs (typisch ca. 4000/µs). • Reduziert die Schalterüberspannung, welche durch Schalten in der Motorleitung entsteht.

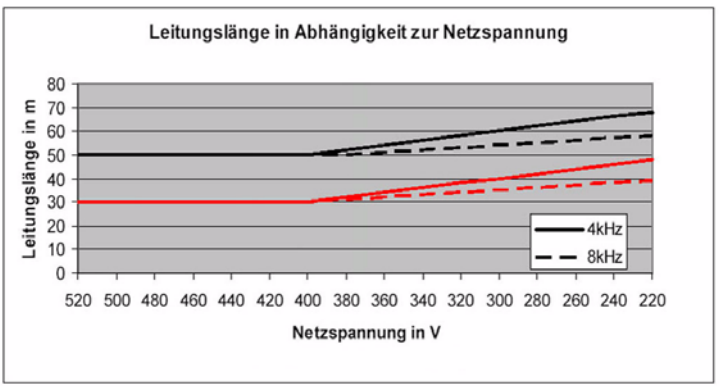
4.4.1 Technische Daten

Umgebungsbedingungen	MR34.xxx
Nennspannung	3 x 460 V, +10 %
Überlastfaktor	1,8 x I_N für 40 s bis Nennstrom 32 A 1,5 x I_N für 60 s bei Nennstrom 45 bis 170 A
Umgebungstemperatur	-25 °C bis +45 °C, mit Stromreduzierung bis 60 °C (2,5 %/°C)
Montagehöhe	1000 m, mit Stromreduzierung bis 2000 m (12,5 %/1000 m)
Relative Luftfeuchte	15 ... 85 %, Betauung ist nicht zulässig
Lagertemperatur	-25 °C bis +70 °C
Schutzart	IP00, Klemmen VBG4
Zulässiger Verschmutzungsgrad	P2 gemäß EN 61558-1, senkrechte Wandmontage
Anschlüsse	bis Typ MR34.24 Schraubklemmen, größere Motordrosseln Flachanschluss mit Gewindebolzen
UR-Recognition	alle Motordrosseln haben UL-Recognition für die Märkte USA und Kanada
Drehfeldfrequenz/Taktfrequenz Endstufe	max. 150 Hz/4 bis 8 kHz
Stillstandsmoment (Drehfeld Null)	alle 120 s, max. 5 s
du/dt	typisch < 1000 V/µs

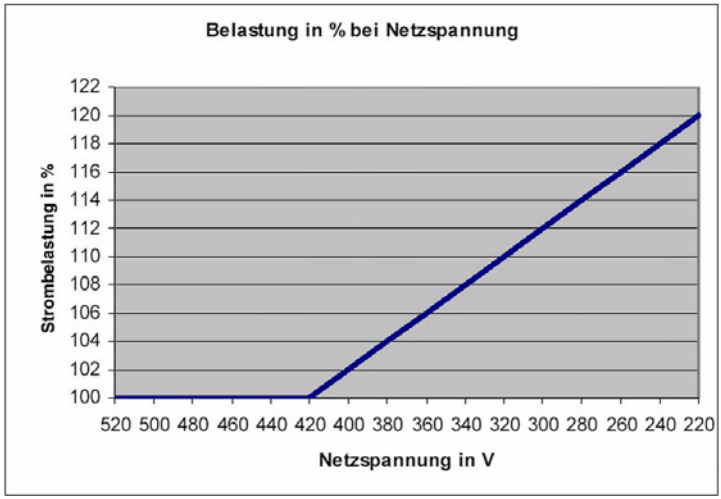
Motordrossel							
Techn. Daten. / Bestellbez.	geeignet für Antriebsregler	Nenn-strom [A]	Verlust-leistung [W]	Motor-leitung max. Länge [m]	max. Kapazitäts-belag [pF/m]	Induk-tivität [mH]	Gewicht [kg]
MR34.10	CDA32.004 bis CDA34.010	9,4	70	30	L - L = 140 L - Schirm = 210	0,9	4,5
MR34.24	CDA34.014 bis CDA34.024	24	120	50	L - L = 140 L - Schirm = 210	0,45	10
MR34.45	CDA34.032 CDA34.045	46	130	50	L - L = 170 L - Schirm = 260	0,15	10,3
MR34.90	CDA34.060 bis CDA34.090	91	145	30	L - L = 190 L - Schirm = 300	0,05	10,5
MR34.110	CDA34.110	150	160	50	L - L = 190 L - Schirm = 300	0,05	20
MR34.170	CDA34.143 CDA34.170	176	210	30	L - L = 190 L - Schirm = 300	0,05	28

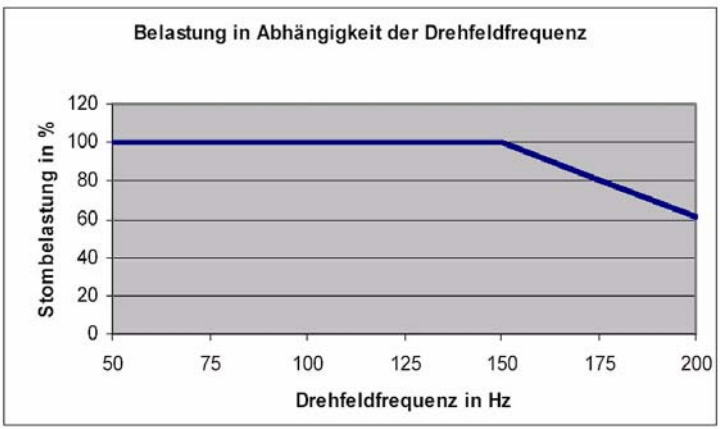
Die Kurzschlussspannung der Motordrossel beträgt 2 % bis 5 % der Nennspannung. Bei Drehfeldfrequenz von 50 Hz beträgt die Kurzschlussspannung ca. 2 %.

4.4.2 Erweiterte Projektierungsregel



Bei Verwendung einer kapazitätsarmen Motorleitung (Typ: Protoflex/Siemens) darf die zulässige Motorleitungslänge mit dem Faktor 1,4 (50 m x 1,4 = 70 m) multipliziert werden.





Auf Anfrage sind auch Sonderausführungen erhältlich.

4.5 Auswahl der - Motorfilter

Funktion	Wirkung
• Der Einsatz des Motorfilters dient zur Erzeugung einer sinusförmigen Ausgangsspannung mit geringer Rippelspannung (typisch ca. 10 V)	Der Motorfilter reduziert: • du/dt Spannungsbelastung an der Motorwicklung, • die Geräuschentwicklung in der Motorwicklung, • die Ableitströme (Spannung Leiter-Erde) um ca. die Hälfte, • die Schaltüberspannung, welche durch Schalten in der Motorleitung entsteht und • die Lagerströme, welche durch hochfrequente Gleichtaktspannungen entstehen können.

4.5.1 Technische Daten

Umgebungsbedingungen	MRF34.xxx
Ausführung	Motordrossel mit Kondensator für Antriebsregler nach EN 61558, VDE0570
Nennspannung	3 x 460 V, +10 %
Überlastfaktor	1,8 x I_N für 40 s bis Nennstrom 32 A 1,5 x I_N für 60 s bei Nennstrom 45 bis 250 A
Umgebungstemperatur	-25 °C bis +45 °C, mit Stromreduzierung bis 60 °C (2,5 %/°C)
Montagehöhe	1000 m, mit Stromreduzierung bis 2000 m (7,5 %/1000 m)
Relative Luftfeuchte	15 ... 85 %, Betauung ist nicht zulässig
Lagertemperatur	-25 °C bis +70 °C
Schutzart/Anschlüsse	IP00, Klemmen VBG4/Schraubklemmen
Zulässiger Verschmutzungsgrad	P2 gemäß EN 61558-1, senkrechte Wandmontage
UL-Recognition	alle Motorfilter haben UL-Recognition für die Märkte USA und Kanada
Drehfeldfrequenz/Taktfrequenz der Endstufe	max. 150 Hz bei 4 bis 8 kHz
Stillstandsmoment (Drehfeld Null)	max. 5 s, alle 120 s
Motorleitungslänge geschirmt	max. 250 m
Ausgangsspannung	sinusförmig mit geringer, überlagerter Rippelspannung

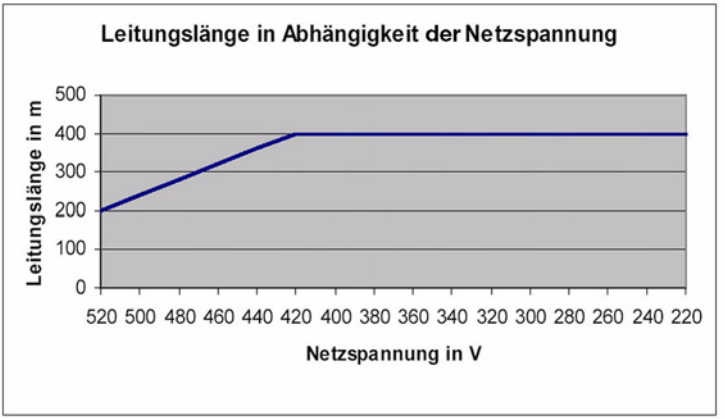
Motorfilter						
Techn. Daten / Bestellbez.	geeignet für Antriebsregler	Nennstrom [A]	Verlustleistung [W]	max. Kapazitätsbelag der Motorleitung [pF/m]	Anschlussquer-schnitt [mm²]	Gewicht [kg]
MRF34.10	CDA32.004 bis CDA34.010	10	70	L - L = 140 L - Schirm = 210	4	5,5
MRF34.17	CDA34.014	16,5	120		10	8,5
MRF34.24	CDA34.024	24	150		16	14,5
MRF34.32	CDAA34.032	32	170	L - L = 170 L - Schirm = 260	16	19
MRF34.45	CDA34.045	48	190		16	25,5
MRF34.60	CDA34.060	61	220		35	33,5
MRF34.72	CDA34.072	72	250	L - L = 190 L - Schirm = 300	35	37
MRF34.90	CDA34.090	90	290		50	53
MRF34.110	CDA34.110	115	350		95	66
MRF34.170	CDA34.143 CDA34.170	180	450		150	75

Die Kurzschlussspannung des Motorfilters beträgt ca. 4-8 % der Nennspannung. Bei Drehfeldfrequenz von 50 Hz beträgt die Kurzschlussspannung ca. 3 %, wobei der Leistungsfaktor sich um ca. 2 % erhöht.

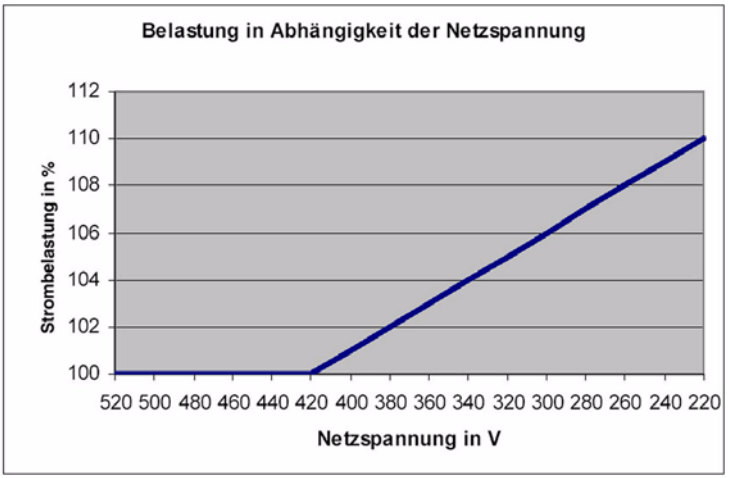
Weitere Projektierungshinweise:

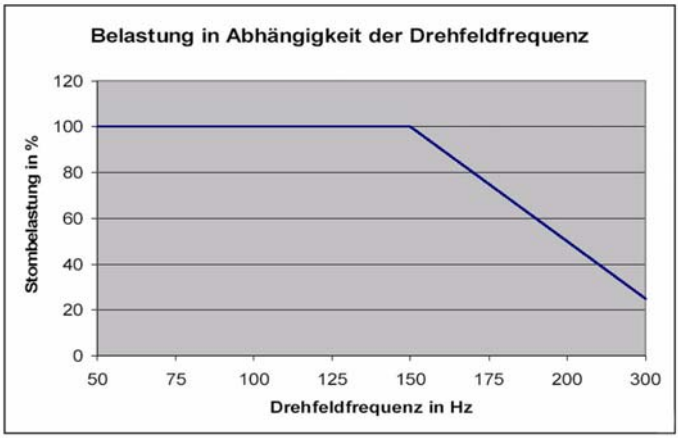
- Für das erstmalige Laden der Kondensatoren wird zusätzlich etwa 10 % des Motorfilternennstroms benötigt. Es ist darauf zu achten, dass die Stromeinprägung bzw. der Anfahrstrom dementsprechend reduziert wird.
- Motoridentifikation darf **nicht** mit MRF34.xxx durchgeführt werden. Motordrossel während der Identifikation abklemmen.
- Der Motorfilter darf nur in Regelungsart VFC (u/f-Kennlinie) verwendet werden.

4.5.2 Erweiterte Projektierung



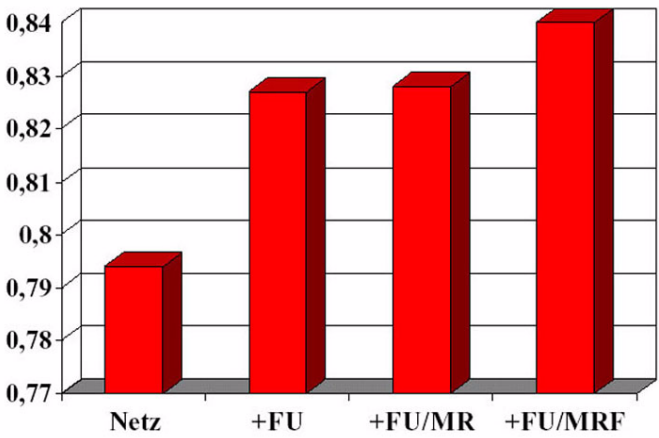
Bei Verwendung einer kapazitätsarmen Motorleitung (Typ: Protoflex/Siemens) darf die zulässige Motorleitungslänge mit dem Faktor 1,4 (400 m x 1,4 = 560 m) multipliziert werden.





Verbesserung des Motorleistungsfaktors durch Einsatz von Motorfilter MRF34.xxx

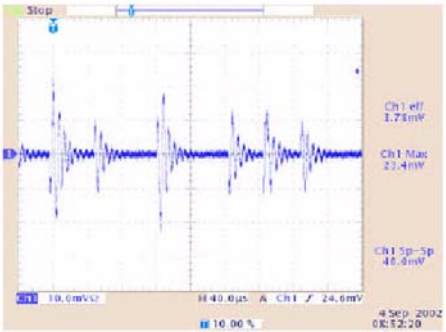
- Exemplarische Messung an einem 15 kW Motor im Teillastbereich



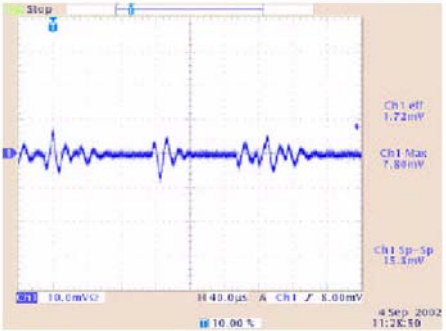
Reduzierung des Ableitstroms durch Einsatz von Motorfilter MRF34.xxx

- Der durch das PWM-Taktsignal und den Kapazitätsbelag der Motorleitung hervorgerufene Ableitstrom im Motorleitungsschirm, wird durch den Einsatz eines Motorfilters stark reduziert (halbiert).

Typischer Ableitstrom bei 50 m Motorleitung, ohne Motorfilter MRF 1,89 Aeff/23 App



Typischer Ableitstrom bei 50 m Motorleitung, mit Motorfilter MRF 0,86 Aeff/7,9 App



Berechnung des Ableitstrom pro m:

Ohne Motorfilter:	1,89 A / 50 m =	38 mA
mit Motorfilter:	0,86 A / 50 m =	17 mA

Der Ableitstrom sinkt mit Motorfilter um ca. 55% pro Meter.

Reduzierung des gestrahlten Störspektrums (ungeschirmte Motorleitungen) durch Motorfilter MRF

- Beurteilt wurden nur ungeschirmte Motorleitungen und der Motor.
- Antriebsregler und Filter sind wie in der Praxis außerhalb des Empfangsbereichs, im Schaltschrank, montiert.

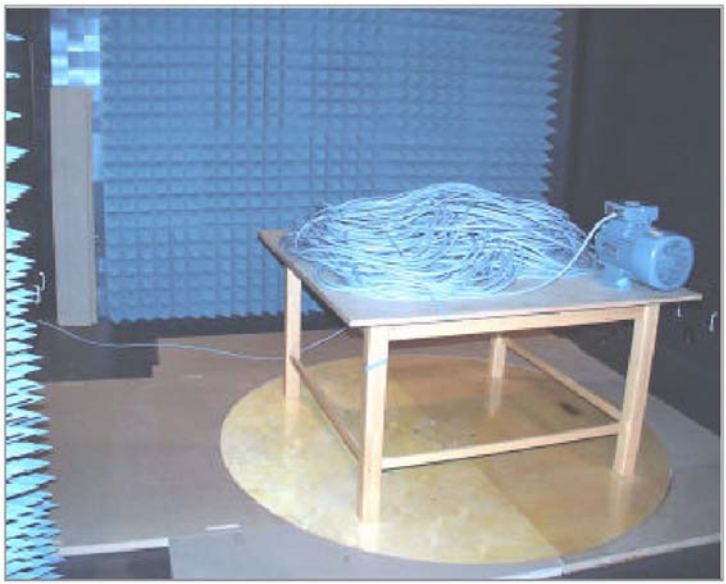


Bild 4.7 Messaufbau

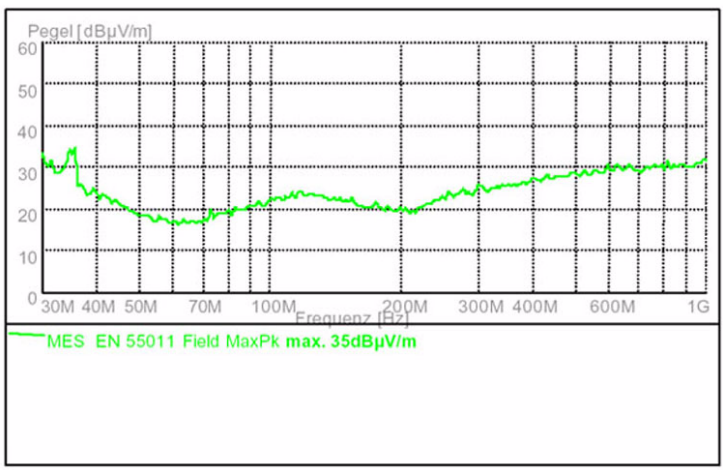


Bild 4.8 Störspektrum einer 50 m langen, geschirmten Motorleitung (ohne Motorfilter)

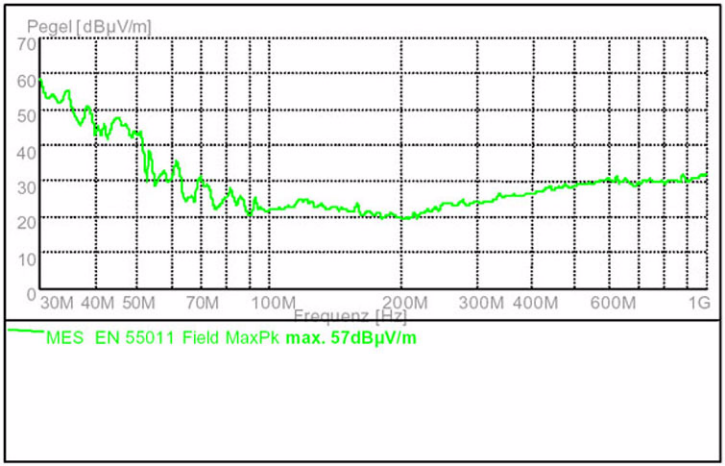


Bild 4.9 Störspektrum einer 50 m langen, ungeschirmten Motorleitung (ohne Motorfilter)

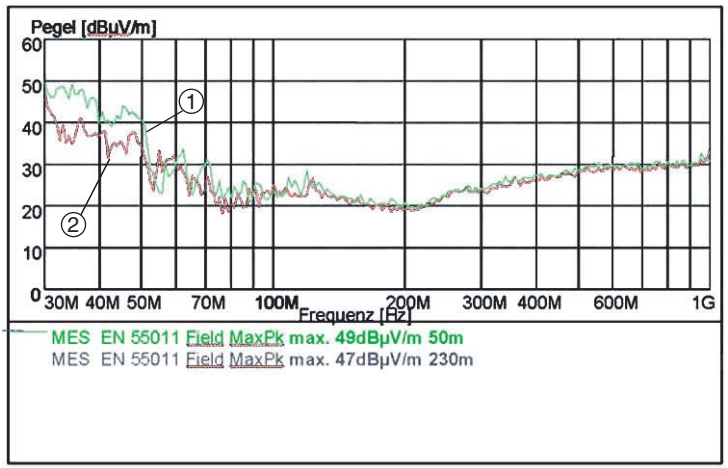


Bild 4.10 Störspektrum einer 50 m (1)/230 m (2) langen, ungeschirmten Motorleitung, bei Betrieb mit Motorfilter (MRF)

Auf Anfrage sind auch Sonderausführungen erhältlich.

5 Information zur Systemgestaltung

5.1 Wärmeabführung aus dem Schaltschrank 5-3
5.1.1 Grundbegriffe für die Berechnung 5-3
5.1.2 Effektive Schaltschrank-oberfläche 5-5
5.1.3 Berechnung der Filterlüfter 5-7
5.1.4 Berechnung der Wärmetauscher 5-8
5.2 Wärmeübertragung durch Wärmeleitung 5-9
5.2.1 Berechnungsbeispiel mit CDA34.014, C (Cold Plate) 5-11
5.3 Netzrückwirkungen von elektrischen Antrieben .5-16
5.3.1 Reduzierung der Netzrückwirkung 5-20
5.4 Blindstromkompensationsanlagen in Elektroenergienetzen mit nichtlinearen Lasten ...5-22
5.4.1 Resonanzfrequenz in Elektroenergie-netzen 5-24
5.5 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) und elektrische Antriebe 5-27
5.5.1 EMV-Normung elektrischer Antriebe 5-28
5.5.2 Grenzkurve für elektrische Antriebe (PDS) 5-35
5.5.3 Typischer Messaufbau für die Abnahme von elektrischen Antrieben 5-36
5.5.4 Aufbaurichtlinien für Schaltschränke 5-42
5.5.5 Sechzehn Maßnahmen zur EMV nach DIN VDE 0100 Teil 440 5-44
5.6 Sicherheitstechnik für Maschinen mit elektrischen Antrieben 5-46
5.6.1 Richtlinien und EN-Normengruppe 5-49

5.6.2 Gefahrenanalyse und Risikominderung 5-51
5.6.3 „Sicherer Halt“ nach EN 954-1 Kategorie 3 5-53
5.6.4 Sicherheitsfunktionen für Bewegungsführung 5-64
5.6.5 Anwendung der zukünftigen EN ISO 13849-1 (EN 954-1) und EN IEC 62061 5-68

5.7 Antriebsreglergespeiste elektrische Antriebe im explosionsgefährdeten Bereich 5-77

5.7.1 Motoren der Zündschutzart „d“ 5-78
5.7.2 Zündschutzmaßnahmen 5-80

5.8 Fehlerstromüberwachung in elektrischen Anlagen mit elektrischen Antriebssystemen 5-83

5.8.1 Grundsätzliches Messverfahren von FI-Schutzschaltern bzw. RCM/RCD (Typ A) 5-85
5.8.2 Allstromsensitive FI-Überwachung (RCM, Typ B) in geerdeten Systemen 5-85
5.8.3 Allstromsensitive Differenzstromüberwachung in Personen- und Lastaufzügen 5-88

5.1 Wärmeabführung aus dem Schaltschrank

5.1.1 Grundbegriffe für die Berechnung

Um die Klimatisierungskomponenten richtig dimensionieren zu können, sind einige Berechnungen anzustellen. Dabei spielen folgende Größen eine wichtige Rolle:

Grundbegriffe	Erklärungen
Q_V [Watt]	Verlustleistung (Wärmeleistung) der im Schaltschrank eingebauten elektrischen Komponenten.
Q_S [Watt]	Wärmeleistung, die über die effektive Schaltschrankoberfläche (gemäß VDE 0660 Teil 500) ein- oder abgestrahlt wird. Ist die Innentemperatur des Schaltschrankes höher als die Umgebungstemperatur ($T_i > T_u$), so wird Wärme aus dem Schaltschrank abgestrahlt. ($Q_S > 0$). Ist die Umgebungstemperatur höher als die Innentemperatur ($T_i < T_u$), so wird Wärme in den Schaltschrank eingestrahlt ($Q_S < 0$).
Q_E [Watt]	Erforderliche Kühlleistung einer Klimatisierungskomponente; darunter wird die Wärmeleistung verstanden, die das Gerät aus dem Schaltschrank abführen muss.
Q_H [Watt]	Erforderliche Heizleistung (Wärmeleistung) einer Schaltschrankheizung.
T_i [°C]	Maximal zulässige Schaltschrankinnentemperatur, die von den Herstellern der elektrischen Komponenten vorgegeben wird. In der Regel liegt sie zwischen +35 °C und +45 °C.
T_u [°C]	Maximale Umgebungstemperatur, bei der die einwandfreie Funktion aller elektronischen Komponenten im Schaltschrank oder Elektronikgehäuse noch gewährleistet sein muss.
V [m³/h]	Erforderlicher Volumenstrom eines Filterlüfters.
A [m²]	Effektive Schaltschrankoberfläche, die gemäß DIN 57 660 Teil 500 bzw. VDE 0660 Teil 500 ermittelt wird.
k [W/m²K]	Wärmedurchgangskoeffizient des Schaltschrankes. Er ist durch folgende Gleichung definiert: $\mathbf{k} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \frac{s}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_a}}$ $k_{Stahlblech} = 5{,}5\ W/m^2k$

Tabelle 5.1 Grundbegriffe für die Berechnung

Dabei bezeichnen α_i und α_a die Wärmedurchgangskoeffizienten für Innen- bzw. Außenwände, λ die Wärmeleitzahl des Wandmaterials und s die Wanddicke.

$$R = \frac{l}{k}\left[\frac{m^2K}{W}\right]$$

Wärmedurchgangswiderstand des Schaltschrankes.

5.1.2 Effektive Schaltschrankoberfläche

Von den oben aufgelisteten Größen bedarf die effektive Schaltschrankoberfläche A noch einer besonderen Erläuterung. Die Wärmeleistung, die vom Schaltschrank abgestrahlt wird, hängt nämlich nicht nur von dessen tatsächlicher Oberflächengröße ab; entscheidend ist auch die Aufstellungsart des Schrankes. Ein Gehäuse, das allseitig frei in einem Raum steht, kann mehr Wärme abstrahlen als eines, das an einer Wand oder in einer Nische aufgestellt wird. Deshalb gibt es genaue Vorschriften, wie die effektive Schaltschrankoberfläche in Abhängigkeit von der Aufstellungsart zu berechnen ist. Die Formeln zur Berechnung von A sind in DIN 57660 Teil 500 bzw. VDE 0660 Teil 500 festgelegt (siehe Bild 5.1).

Gehäuse-Aufstellungsart nach VDE 0660 Teil 500

Aufstellungsart nach VDE 0660/500	Formel zur Berechnung von A [m^2]
☐	A = 1,8 x H x (B+T) + 1,4 x B x T
▭	A = 1,4 x B x (H+T) + 1,8 x T x H
▯	A = 1,4 x T x (H+B) + 1,8 x B x H
▭	A = 1,4 x H x (B+T) + 1,4 x B x T
▮	A = 1,8 x B x H + 1,4 x B x T + T x H
▬	A = 1,4 x B x (H+T) + T x H
▬	A = 1,4 x B x H + 0,7 x B x T + T x H

☐ Einzelgehäuse allseitig freistehend
▭ Einzelgehäuse für Wandanbau
▯ Anfangs- oder Endgehäuse freistehend
▭ Anfangs- oder Endgehäuse für Wandanbau
▮ Mittelgehäuse freistehend
▬ Mittelgehäuse für Wandanbau
▬ Mittelgehäuse für Wandanbau, abgedeckte Dachflächen

B = Schaltschrankbreite [m] H = Schaltschrankhöhe [m] T = Schaltschranktiefe [m]

Bild 5.1 Berechnung der effektiven leistungabstrahlenden Schaltschrankoberfläche

Strahlungsleistung einer Schaltschrankoberfläche

Wenn die effektive Schaltschrankoberfläche A und der Wärmedurchgangskoeffizient k bekannt sind, lässt sich die Strahlungsleistung Q_S bei maximaler Schaltschrankinnentemperatur T_i und maximaler Aussentemperatur T_u wie folgt berechnen:

$$Q_S = k \cdot A \cdot (T_i - T_u) \qquad (1)$$

Die Formel (1) hat nur Gültigkeit, wenn eine interne Luftbewegung sichergestellt ist. T_i entspricht der mittleren Schaltschrankinnentemperatur, welche bei geschlossenen Schaltschränken nur durch einen internen Umlüfter sichergestellt werden kann.

Es gibt auch Diagramme, aus denen man die Strahlungsleistung ohne Berechnung direkt ablesen kann (siehe Bild 5.2).

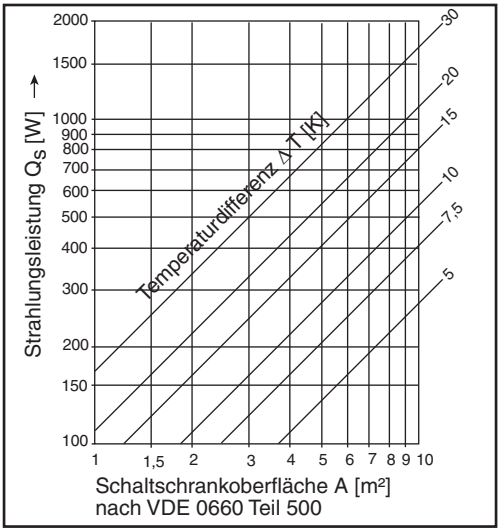


Bild 5.2 Strahlungsleistung einer Schaltschrankoberfläche

5.1.3 Berechnung der Filterlüfter

Der erforderliche Volumenstrom eines Filterlüfters ist abhängig von der Verlustleistung der im Schaltschrank eingebauten Komponenten und der Differenz zwischen maximal zulässiger Innen- und Aussentemperatur:

Erforderlicher Volumenstrom

$$V = f \cdot \frac{Q_v}{T_i - T_u} \qquad (2)$$

Der Faktor f [m³K/Wh] ist abhängig von der Höhe über Meeresniveau, auf der der Lüfter betrieben wird (siehe Tabelle 5.2). Damit wird berücksichtigt, dass der Luftdruck – und damit die Luftdichte – mit steigender Höhe abnimmt und der Lüfter demzufolge bei gleichbleibendem Volumenstrom immer weniger Wärme nach außen transportiert.

Höhe über Meeresniveau [m]	f [m³K/Wh]
0 - 100	3,1
100 - 250	3,2
250 - 500	3,3
500 - 750	3,4
750 - 1000	3,5

Tabelle 5.2 Berechnungsfaktor „f“ für Filterlüfter in Abhängigkeit von der Höhe über Meeresniveau

Beispiel: Der Lüfter soll in einem Schaltschrank installiert werden, der auf einer Höhe von 80 m über dem Meeresspiegel steht und eine Verlustleistung von 600 Watt aufweist. Die Temperaturwerte sind $T_i = +40$ °C und $T_u = +20$ °C. Einsetzen dieser Werte in Formel (2) ergibt:

$$V = 3,1 \cdot \frac{600}{20}\frac{m^3}{h}$$

Erforderlich ist also ein Filterlüfter, der mindestens 93 m³/h fördert.

Die Filterlüfter sollten generell etwas größer gewählt werden als berechnet, da die Betriebsseite der Filtermatte zunehmend verschmutzt und die Wärmeabführung dadurch behindert wird. Aus diesem Grund sollte man auch die Wärmeabstrahlung über die Schaltschrankoberfläche bei der Berechnung des erforderlichen Volumenstroms des Lüfters außer Acht lassen.

5.1.4 Berechnung der Wärmetauscher

Im Gegensatz zu den Filterlüftern ist die Wärmeabstrahlung über die Schaltschrankoberfläche bei der Auslegung der Wärmetauscher sehr wohl zu berücksichtigen. Die erforderliche Kühlleistung Q_E, die ein Wärmetauscher erbringen muss, berechnet sich aus der Differenz von Verlustleistung und Abstrahlungsleistung des Schaltschrankes.

$$\mathbf{Q_E = QV - QS} \qquad \mathbf{(3)}$$

Beispiel: Ein allseitig freistehender Schaltschrank aus Stahlblech ist 60 cm breit, 2 m hoch und 50 cm tief. Die Verlustleistung im Schrank beträgt 900 Watt.

Die maximale Umgebungstemperatur beträgt +25 °C, die Temperatur im Schaltschrank soll nicht über +35 °C ansteigen.

Die Abstrahlungsleistung der Schaltschrankoberfläche berechnet sich nach Formel (1) zu:

$$\mathbf{Q_S = k \cdot A \cdot (T_i - T_u)}$$

Dabei bezeichnet k den Wärmedurchgangskoeffizienten, A die effektive Schaltschrankoberfläche.

Der Wärmedurchgangskoeffizient für Stahlblech beträgt 5,5 W/m²K.

Die effektive Schaltschrankoberfläche wird nach DIN 57 660 Teil 500 bzw. VDE 0660 Teil 500 (s. Tabelle 5.2) berechnet:

$$\mathbf{A = 1{,}8 \,.\, H\,(B + T) + 1{,}4 \,.\, B \,.\, T}$$

H, B und T geben die Höhe, Breite und Tiefe des Schrankes jeweils in Metern an.
In unserem Beispiel ist also:

$$\mathbf{A = (1{,}8 \,.\, 2 \,.\, (0{,}6{+}0{,}5) + 1{,}4 \,.0{,}6 \,.\, 0{,}5)\ m^2 = 4{,}38\ m^2}$$

Wenn wir für A den Näherungswert 4,4 m² einsetzen, erhalten wir aus Formel (1):

$$\mathbf{Q_S = k \cdot A \cdot (T_i - T_u) \quad = \quad 5{,}5 \,.\, 4{,}4 \,.\, 10\ W = 242\ W}$$

Die erforderliche Kühlleistung des Wärmetauschers beträgt also nach Formel (3):

$$\mathbf{Q_E = QV - QS = 900\ W - 242\ W = 658\ W}$$

Je nachdem, ob ein Luft/Luft- oder ein Luft/Wasser-Wärmetauscher eingesetzt werden soll, sind nun noch verschiedene Größen zu beachten.

Wenn Sie mehr zu diesem Thema wissen wollen, dann empfehlen wir Ihnen das Buch „Schaltschrankklimatisierung“ vom Verlag „Moderne Industrie“, siehe Quellenverzeichnis.

5.2 Wärmeübertragung durch Wärmeleitung

Durchfließt ein konstanter Wärmestrom P eine ebene Wand, so ergeben sich an den beiden Oberflächen die Temperaturen ϑ_1 und ϑ_2 (Bild 5.3). Den Zusammenhang beschreibt die Gleichung (1).

$$P = \lambda \frac{A}{d} (\upsilon_1 - \upsilon_2) \qquad (1)$$

P:	Wärmestrom	W
λ:	Wärmeleitfähigkeit	$\frac{W}{m \cdot K}$
A:	Fläche der Wand	m²
d:	Dicke der Wand	m
ϑ_1, ϑ_2:	Oberflächentemperaturen	°C oder K

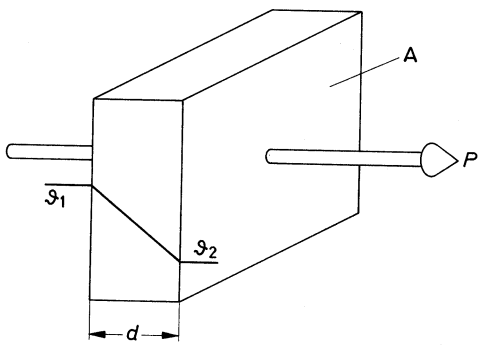


Bild 5.3 Stationäre Wärmeleitung durch eine Wand

Die Wärmeleitfähigkeit λ ist eine temperaturabhängige Materialeigenschaft. Bei elektronischen Geräten ist sie für die meisten Anwendungsfälle als Konstante anzusehen. In Tabelle 5.3 sind λ-Werte für einige wichtige Stoffe zusammengestellt. Abhängig von der zu lösenden Aufgabe (gute Wärmeleitung oder hohe Isolation) wird man Stoffe mit entsprechender Wärmeleitfähigkeit auswählen.

Der thermische Widerstand bei Wärmeleitung, der Wärmeleitwiderstand R_{thL}, ergibt sich aus:

$$R_{thl} = \frac{d}{\lambda \cdot A} \qquad (2)$$

R_{thL}:	Wärmeleitwiderstand	$\frac{K}{W}$
d:	Wanddicke	m
λ:	Wärmeleitfähigkeit	$\frac{W}{m \cdot K}$
A.	Wandfläche	m^2

Damit lässt sich Gleichung (1) umformen:

$$\Delta\vartheta = \vartheta_1 - \vartheta_2 = P \cdot R_{thL}$$

Besteht eine Wand aus mehreren Schichten, so ist der resultierende Wärmeleitwiderstand gleich der Summe der Wärmeleitwiderstände der einzelnen Schichten.

Gute Wärmeleiter Stoff	λ
Aluminium, rein	**230**
Gusseisen	**58**
V2A-Stahl	**15**
Stahlblech	**59**

Tabelle 5.3 Wärmeleitfähigkeit einiger Stoffe bei ϑ = 20 °C

Der spezifische Wärmekontaktwiderstand (γ_{in} $\frac{cm^2 \cdot K}{W}$) von Metall auf Metall halbiert sich bei der Verwendung von Wärmeleitpaste zwischen zwei Metallflächen.

5.2.1 Berechnungsbeispiel mit CDA34.014, C (Cold Plate)

- Antriebsregler CDA34.014, C (BG3)
- Endstufentaktfrequenz 4 kHz

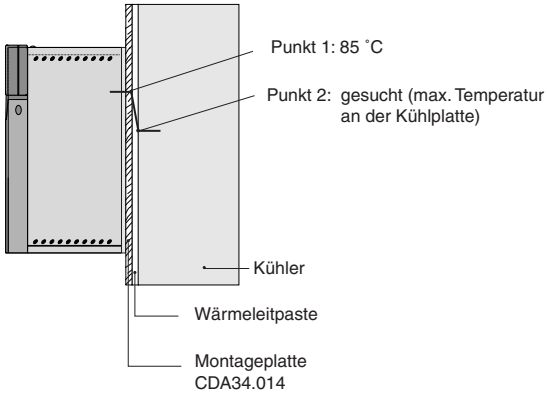


Bild 5.4 Schema Colde Plate

1. Verlustleistung, die über die Montageplatte des Antriebsreglers abgegeben wird.

Der CDA34.014 (BG3) hat bei 4 kHz Endstufentaktfrequenz eine Verlustleistung (siehe Bestellkatalog/Betriebsanleitung) von 180 W.

Die Abgabe der Verlustleistung erfolgt zu 75 % über die Montageplatte (aktive Kühlfläche) und zu 25 % als Strahlung über das Gehäuse (Tabelle 5.4).
$P_{Montageplatte}$ = 180 W x 0,75 = 135 W

2. Temperaturdifferenz zwischen Montageplatte und Kühlplatte berechnen.

$\Delta\vartheta = P_{Montageplatte} \times R_{th}$ [1)] = 135 W x 0,02 K/W = 2,7 K

[1)] siehe Tabelle 5.4

3. Maximale Temperatur an Punkt 2 bzw. am Kühler

$\vartheta_{Punkt\ 2} = \vartheta_{\ Punkt\ 1} - \Delta\vartheta$ = 85 °C - 2,7 °C = 82,3 °C
(bei 10 % Sicherheit = 78 °C)

4. Berechnen des Kühlers:

- An Punkt 2 darf die max. Temperatur von 82,3 °C (78 °C) nicht überschritten werden.
- Über den Kühler müssen 135 W Verlustleistung abgeführt werden.
- Die genaue Lösung ist vom verwendeten Kühler, wie z. B. Luft-Kühlkörper, Wasser-Kühlkörper, Wärmetauscher u.s.w. abhängig.

Projektierungshinweise Cold Plate c-line DRIVES

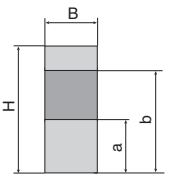
Thema: Thermische Anbindung an den Kühler

- Ebenheit der Kontaktfläche von 0,05 mm
  RZR 6,3 = maximale Rauheit der Kontaktfläche
- Fläche zwischen Antriebsregler (Montageplatte „Cold Plate“) und Kühler mit Wärmeleitpaste bestreichen (Schichtdicke 30-70µ).
- Die Temperatur in der Mitte der Antriebsregler-Montageplatte darf 85 °C nicht übersteigen.

Verteilung der Verlustleistung

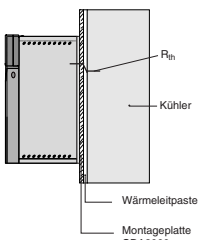
Baugröße	Leistung	Kühlkörper	Gehäuse
BG 1/2	0,37 bis 2,2 kW	ca. 65 %	ca. 35 %
BG 3	3 bis 4 kW	ca. 70 %	ca. 30 %
BG 4	5,5 bis 7,5 kW	ca. 75 %	ca. 25 %
BG 5	11 bis 15 kW	ca. 80 %	ca. 20 %
BG 6[1)]	22 bis 37 kW	ca. 85 %	ca. 15 %

Aktive Kühlfläche



Baugröße	Leistung [kW]	Geräte Grundfläche [mm]		Aktive Kühlfläche [mm]	
		B	H	a	b
BG 1	0,37 bis 0,75 kW	70	193	50	165
BG 2	1,1 bis 2,2 kW	70	218	90	200
BG 3	3 bis 4 kW	100	303	120	260
BG 4	5,5 bis 7,5 kW	150	303	65	215
BG 5	11 bis 15 kW	200	303	80	300
BG 6[1)]	22 bis 37 kW	190	405	190	345

Wärmewiderstand



Baugröße	Leistung [kW]	Wärmeleitwiderstand zwischen Aktiver Kühlfläche und Kühler R_{th} [K/W]
BG 1	0,37 bis 0,75 kW	0,05
BG 2	1,1 bis 2,2 kW	0,05
BG 3	3 bis 4 kW	0,03
BG 4	5,5 bis 7,5 kW	0,02
BG 5	11 bis 15 kW	0,015
BG 6[1)]	22 bis 37 kW	0,01

1) nur CDE/CDB3000

Tabelle 5.4 Projektierungshinweise „Cold Plate“

Simulationsergebnis mit Rittal Flüssigkeitskühler DCP:

Es wurden zwei 22 kW-Antriebsregler mit einer Verlustleistung von 1300 W auf den Flüssigkeitskühler montiert.

T_u = 40 °C (Schaltschrankumgebungstemperatur), T_i=55 °C (Schaltschrankinnentemperatur), Kühlmittelzulauf 25 °C

Erste aufwendige Simulationen zeigen, dass die maximale Oberflächentemperatur der Cold Plate 35 °C nicht überschreitet.

Erhöhung der Lebensdauer von Leistungselektroniken bei Cold Plate Temperatur < 35 °C

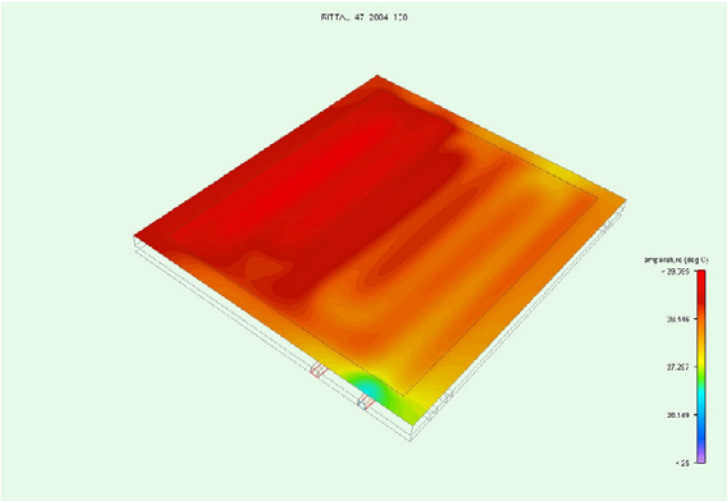


Bild 5.5 Simulation des Temperaturverlaufs

Praktische Erwärmungsversuche mit Positionierregler CDE/CDB34.070 an einer DCP-Testanlage wurden durchgeführt. Die Ergebnisse stellen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

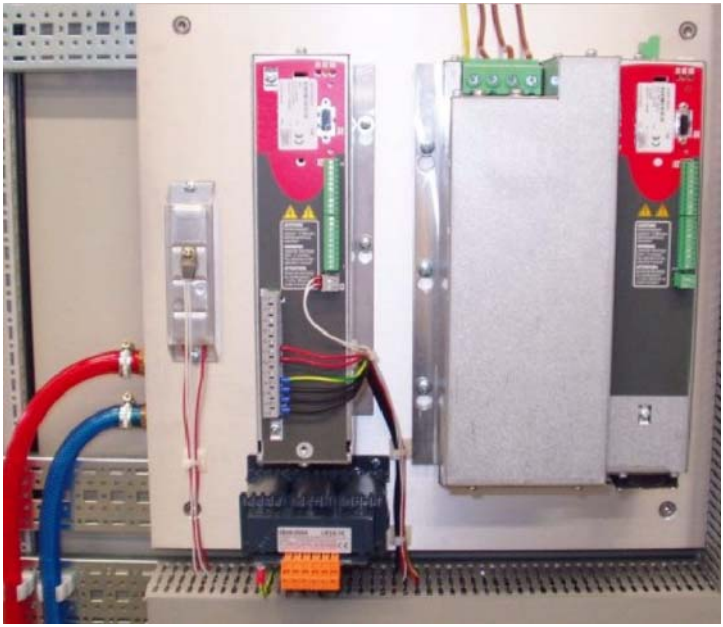


Bild 5.6 Montagebeispiel mit CDA3000 und Bremswiderstand auf flüssiggekühlter Teilmontageplatte

Weitere Informationen zum Thema: „Systemlösung zur optimalen Kühlung“ mit DCP (Direct Cooling Package) erhalten Sie bei:
Firma Rittal GmbH in D-35726 Herborn (www.rittal.de).

Sonderausführung CDE/CDB3000 (22 bis 37 kW) mit Flüssigkeitskühlkörper

Weitere Projektierungsinformationen lagen bei Redaktionsschluss noch nicht vor.

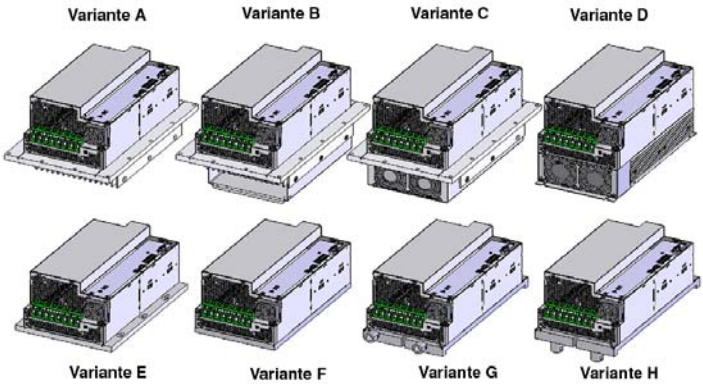


Bild 5.7 Mögliche Kühlkörpervarianten für CDE/CDB3000 BG6

Variante A	Durchsteckkühlkörper 1	Variante E	Cold-Plate-Kühlkörper 1
Variante B	Durchsteckkühlkörper 2	Variante F	Cold-Plate-Kühlkörper 2
Variante C	Durchsteckkühlkörper 3	Variante G	Flüssigkeitskühlkörper 1
Variante D	Wandmontage	Variante H	Flüssigkeitskühlkörper 2

5.3 Netzrückwirkungen von elektrischen Antrieben

Die Eingangsströme von Antriebsreglern, Positionier- und Servoreglern sind, wegen der verwendeten ungesteuerten Diodenbrücke, nicht sinusförmig. Die verschiedenen Einflüsse auf das Elektroenergienetz bzw. auf die Spannungsqualität des Netzes, fasst man unter dem Begriff „Netzrückwirkung“ zusammen. Die Normen zum Thema „Netzrückwirkung“ sind im Allgemeinen Normenbereich der „EMV-Normen“ einzuordnen. Nachfolgend werden die wichtigsten Begriffe erläutert.

Wichtigste Arten der Netzrückwirkung von elektrischen Antriebsreglern mit ungesteuerter Diodenbrücke sind:

- Oberschwingungsströme
- Spannungseinbrüche

Normenbezug für Antriebssysteme (PDS)[1)], die in industrieller Umgebung (2. Umgebung) eingesetzt werden.

Produktnorm	Grundnorm	Prüfung
EN 61800-3 5.2.1 Tabelle 2	IEC 61000-2-4 Kriterium A	Oberschwingung (THD) und einzelne Oberschwingungsordnung THD[2)] = 10 % (Klasse 3)
	IEC 60146-1-1 Kriterium A	Kommutierungseinbrüche Tiefe = 40 %, Gesamtfläche = 250 % x Grad

2) $THD = \frac{\sqrt{U_5^2 + U_7^2 + \cdots U_{41}^2}}{U_{eff}}$ U_n in % von der $U_{Grundwelle}$

Tabelle 5.5 Normen

Die Bestimmung der Oberschwingung und der Kommutierungseinbrüche ist abhängig von den Netzbedingungen und nur durch „Vor-Ort-Messung“ zu ermitteln.

1) Power DRIVE Systeme,
2) Total Harmonic Distortion

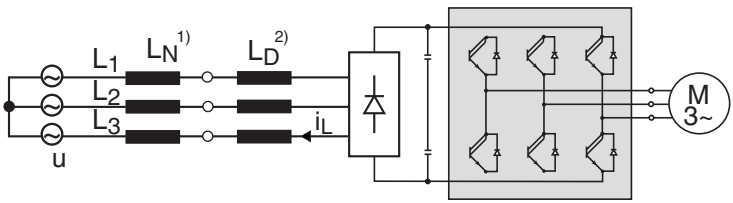
Oberschwingungsströme

Den periodischen, nichtsinusförmigen Verlauf eines Netzstroms kann man rechnerisch, mittels der Fourier-Analyse, in sinusförmige Stromkomponenten mit verschiedenen Frequenzen zerlegen.

$$n = k \cdot p_Z \pm 1 \quad (1)$$

n Ordnungszahl
pz Pulszahl
k 1, 2, 3 ...

Aus der Gleichung (1) kann man erkennen, dass bei einer 2-pulsigen Brückenschaltung (1-phasige Regler) Oberschwingströme der Ordnungszahl 3, 5, 7, 9 ... und bei einer 6-pulsigen Brückenschaltung (3-phasige Regler) Oberschwingströme mit der Ordnungszahl 5, 7, 11, 13 ... auftreten.



1) Netzimpedanz
2) Netzdrossel

Bild 5.8 Blockschaltbild

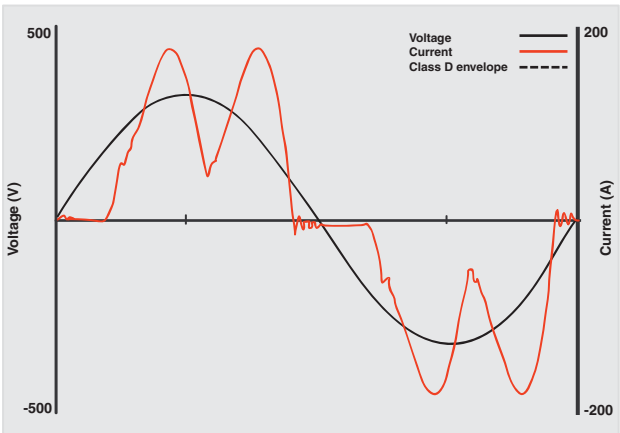


Bild 5.9 Typischer Stromverlauf (i_L) mit gesteuerter B6 Diodenbrücke

Was ist so unangenehm an den Oberschwingungsströmen?

Die Ströme erzeugen an den Netzreaktanzen Oberschwingungsspannungen, die zur Verschlechterung der Spannungsqualität führen.

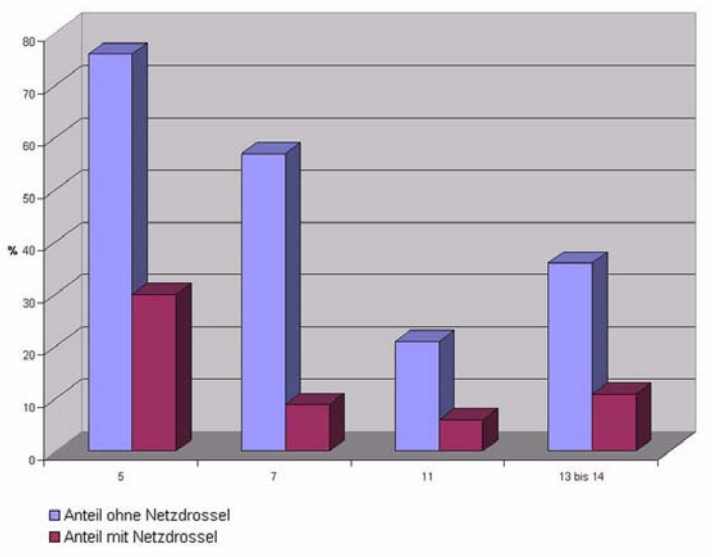


Bild 5.10 Anteil der Oberwellenströme am Beispiel eines 4 kW-Antriebsreglers/Servoreglers

Spannungseinbrüche

Spannungseinbrüche treten während der sogenannten Kommutierung[1)] des Stromes im Eingangsgleichrichter des Antriebsreglers auf. Die Höhe der Spannungseinbrüche bzw. Kommutierungseinbrüche hängt vom Verhältnis der Reaktanz der Netzdrossel zur Reaktanz des Netzes ab.

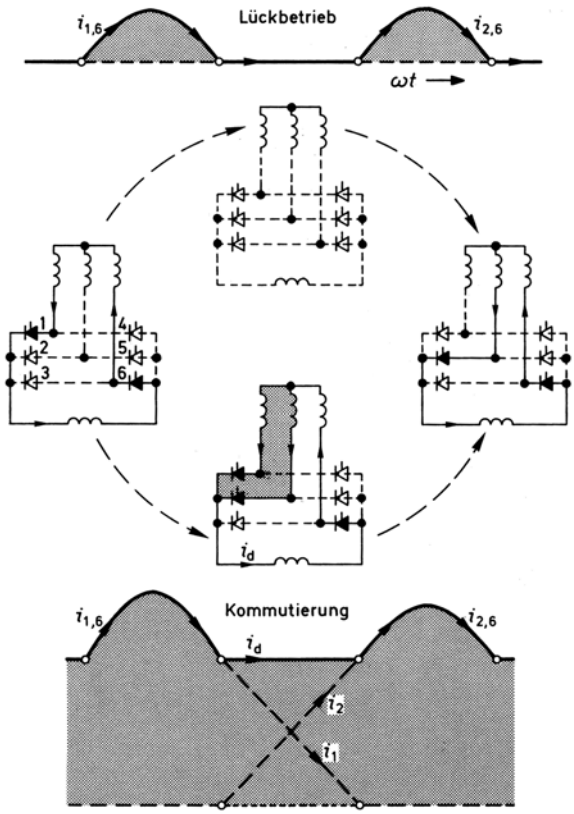


Bild 5.11 Beispiel für eine Drehstrombrücke. Zeitbereich: 1/3 der Periodendauer

Durch den Einsatz von Netzdrosseln mit 4 % Kurzschlussspannung können die Kommutierungseinbrüche um bis zu 70 % reduziert werden.

1) Weiterschalten des Stroms von einem Brückenzweig auf den anderen

5.3.1 Reduzierung der Netzrückwirkung

Zusammenfassend bleibt festzuhalten:
Antriebsregler, Positionier- und Servoregler haben zur Erzeugung der konstanten Zwischenkreisspannung ungesteuerte Eingangsgleichrichter (Diodenbrücke B6, B2) im Netzeingang. Die Zwischenkreiskondensatoren der Antriebsregler werden jeweils im Maximum der Netzspannung nachgeladen. Je nach Innenwiderstand (Impedanz) des speisenden Netzes treten ohne Netzdrossel hohe nichtsinusförmige Ladestromspitzen auf, Stromspitzen, die nicht nur das Netz, sondern auch die Zwischenkreiskondensatoren der Antriebsgeräte belasten.

Durch Einsatz einer Netzdrossel mit U_k = 4 % (Kurzschlussspannung) verlängert sich die Stromflusszeit, und die Amplitude des Netzladestroms wird stark gesenkt. Zusätzlich reduzieren sich die Netzbelastungen durch Oberwellen und Kommutierungseinbrüche um mehr als die Hälfte.

Die Höhe der auftretenden Ladeströme wird durch die Antriebsreglerleistung und im Wesentlichen durch die Netzimpedanz bestimmt. Da die Netzimpedanz maßgeblich die auftretenden Ladeströme bestimmt, müssen Sie sich mit nachfolgenden Fragen auseinandersetzen:

- Welche Impedanz hat Ihr Netz?
- Wie ist das momentane Verhältnis von Kurzschlussleistung zu Antriebsreglerleistung?
- Ändert sich die Netzimpedanz zeitabhängig?
- Werden Leitungsführungen geändert und wie wirken sich die Änderungen aus?
- Werden Versorgungstrafos parallel geschaltet?
- Ist Notstrombetrieb vorgesehen?
- An welchem Netzanschlusspunkt werden zukünftig Antriebsregler- oder Servotechnik installiert?
- Ändert sich zukünftig die Netzumgebungsklasse, z. B. durch Installation einer Punktschweißmaschine?

Was bedeutet das für Sie? Da Ihnen diese Fragen voraussichtlich niemand beantworten kann, können Sie nur durch den Einsatz von Netzdrosseln einigermaßen sicher sein, keine Probleme zu bekommen. Denn die Netzdrossel koppelt Ihr Antriebsgerät vom Netz ab und schützt es vor zu hohen Ladespitzen und Netzspannungsunsymmetrien, siehe Kapitel 4.1.

Erhöhung der Kurzschlussleistung:
Eine andere Maßnahme zur Reduzierung der Netzrückwirkung (Oberschwingung, Spannungsunsymmetrie) ist der Anschluss des Antriebsreglerantriebs an einen Versorgungstrafo mit hoher Kurzschlussleistung. Denn durch diese Maßnahme sinkt die Impedanz des speisenden Netzes, wodurch die Spannungsabfälle am Netz durch die Oberwellenströme des Antriebsreglers ebenfalls sinken.

- **Einsatz von passiven oder aktiven „Harmonic Filter Modulen“**
  Solche Filter reduzieren den Oberschwingungsanteil auf THD-I[1)] ≤ 16 % oder ≤ 10 %

Vorgehensweise in der Praxis

EN 61800-3/ IEC1800

Um festzustellen, ob Sie in Ihrer Anwendung die Norm EN 61800-3/ IEC1800-3 oder eine andere Norm einhalten, müssen Sie den Ersatzantriebsregler bezogen auf Ihren Netztrafo ermitteln. Auf der Basis des Ersatzantriebsreglers und der Netzimpedanz berechnen Sie dann die Spannungsverzerrung THD. Das Ergebnis müssen Sie, im Bezug auf das gesamte Netzverhältnis, gewichten.

Die theoretische Bestimmung der Netzverhältnisse kann nur als Richtschnur dienen. Zeigt die theoretische Berechnung auf, dass Sie an die per Norm vorgeschriebenen Grenzen stoßen, so sollten Sie immer eine Netzanalyse mittels Netzanalysatoren (Messdauer typisch sieben Tage) durchführen lassen. Nur über diesen Weg ist eine praxisnahe Beurteilung Ihres Energieversorgungsnetzes möglich, bzw. können die zuvor genannten „repräsentativen Fragen“ beantwortet werden.

1) THD-I (Total Harmonic Distortion-Current)

5.4 Blindstromkompensationsanlagen in Elektroenergienetzen mit nichtlinearen Lasten

Elektrische Geräte[1)] und Maschinen[1)] belasten die Netze der öffentlichen elektrischen Versorgung nicht nur durch ihren Wirkleistungsbedarf, sondern auch durch Inanspruchnahme von Blindleistung. Die Übertragung von Blindleistung zum Verbraucher verursacht im Netz zusätzliche Verluste. Um diese Verluste zu minimieren bzw. den Blindleistungsbedarf gering zu halten, werden sogenannte „Blindstromkompensationsanlagen“ installiert.

Der Errichter und Betreiber von Kompensationsanlagen für Blindstrom muss sich zunehmend mit den Fragen der Resonanzerscheinung durch Kondensatoren, Oberschwingung und Verdrosselung auseinandersetzen. Die nachfolgenden, überwiegend allgemein gehaltenen Erläuterungen sollen einen Überblick zu dem Thema geben und die Zusammenhänge zu elektrischen Antriebssystemen aufzeigen.

Netzrückwirkungen
Hormann/Just/Schlabbach
Anlagentechnik für elektrische Verteilungsnetze (Bd, 14)
Rolf R. Cichowski (Hrsg.)
VDE-Verlag, ISBN 3-8022-2231-3

Ausführungen von Blindstromkompensationsanlagen

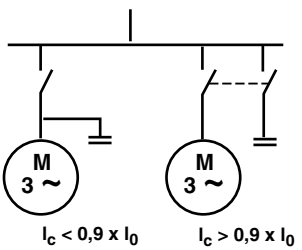


Bild 5.12 Vereinfachte Darstellung einer Einzelkompensation

1) Stromrichter, USV-Anlagen, Lichtbogenöfen, Schmelzöfen, Antriebsregler, Servoregler, Schweißmaschinen, Pressen, Stanzen, Energiesparlampen, Motoren ...

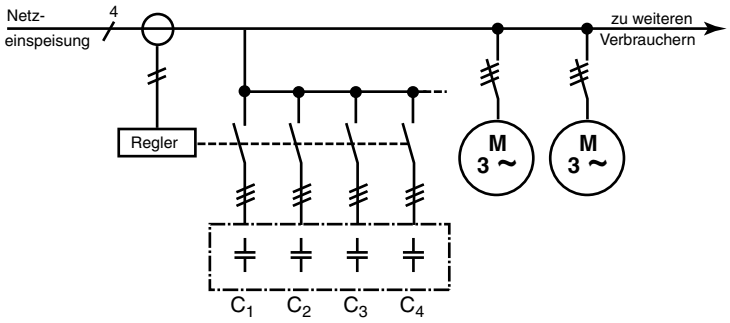


Bild 5.13 Vereinfachte Darstellung der automatisch geregelten Zentralkompensationsanlage

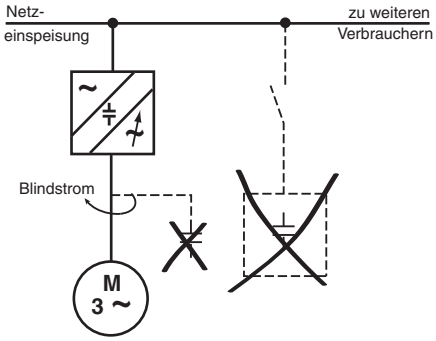


Bild 5.14 Vereinfachte Darstellung der Situation bei Antriebsreglerbetrieb

Blindstromkompensation bei Antriebsreglerbetrieb:
Für alle Motoren, die am Spannungszwischenkreis-Antriebsregler (Servoregler, Antriebsregler oder Positionierregler) betrieben werden, muss keine Blindstromkompensation durchgeführt werden. Der Antriebsregler stellt eine Netzbelastung mit annähernd cos $\varphi \approx 1$dar.

5.4.1 Resonanzfrequenz in Elektroenergienetzen

Resonanzfrequenzen in Elektroenergienetzen ergeben sich im Wesentlichen durch das Zusammenwirken von Netzimpedanz, Kompensationsanlage und Verbraucherimpedanzen. Für eine überschlägige Berechnung der Resonanzfrequenz genügt es, nur die Reaktanzen des Netztransformators und der Blindstromkompensation zu berücksichtigen.

$$f_{res} \approx f_1 \sqrt{\frac{S_K''}{Qc}} \approx f_1 \sqrt{\frac{S_T \cdot 100}{U_K \cdot Q_C}}$$

SK“ = Netzkurzschlussleistung bei Netzspannung am Anschlusspunkt

Für S_T ist die Bemessungsscheinleistung des Netzstransformators, für U_K seine Kurzschlussspannung in %, für Q_C die Kompensationsleistung der Blindstromanlage und für f_1 die Netzfrequenz einzusetzen. Nach der Formel erkennt man, dass die Resonanzfrequenz mit höherer Kompensationsleistung immer kleiner wird und somit in die Nähe der vom Antriebsregler erzeugten Oberwellenströme z. B. 250 Hz (5. Oberwelle), 350 Hz (7. Oberwelle)] kommt. Dies wiederum kann dazu führen, dass die Oberschwingungsströme von den Kondensatoren der Blindstromkompensationsanlage abgesaugt werden, wodurch diese überlastet werden.

Was tun, wenn die Resonanzfrequenz bei 5., 7. oder 11. Ordnung entsprechend der Frequenzen 250 Hz, 350 Hz oder 550 Hz liegt?

Die Gefahr der Resonanz kann man vermeiden, indem Kondensatoren durch Vorschalten von Drosseln zu Reihenschwingkreisen ergänzt werden. Diese werden in der Regel so abgestimmt, dass die Resonanzfrequenz unterhalb der niedrigsten Oberschwingungsfrequenz von z. B. 250 Hz liegt.

In der Praxis gibt man bei verdrosselten Kompensationsanlagen den sogenannten Verdrosselungsfaktor an. In der nachfolgenden Tabelle sind die hauptsächlich verwendeten Verdrosselungsfaktoren und die zugehörige Resonanzfrequenz gegenübergestellt.

Verdrosselungsfaktor	Resonanzfrequenz
5,67 %	210 Hz
7 %	189 Hz
14 %	134 Hz

Tabelle 5.6 Verdrosselungsfaktoren

Mit steigendem Verdrosselungsfaktor erhöht sich die Spannung an den Kondensatoren, was den Einsatz von Kondensatoren mit höherer Netzspannung erforderlich macht.

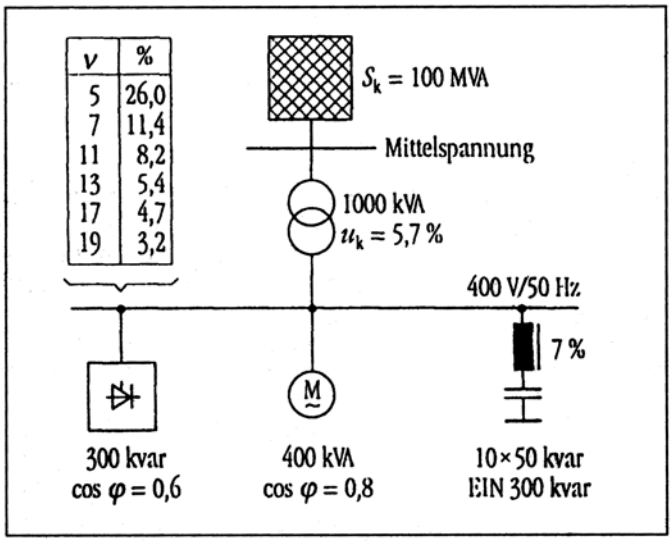


Bild 5.15 Kompensation mit Oberschwingungserzeuger und 7 %iger Verdrosselung

Fazit

Die Berechnung der Resonanzfrequenz dient zur Abschätzung unter idealen Netzbedingungen.
Bei der Auslegung von Blindstromkompensationsanlagen muss grundsätzlich die gesamte Zusammensetzung der Verbraucher im Elektronetz untersucht werden. Die Zusammenhänge müssen auch in Schwachlastzeiten untersucht werden, da sich gerade hier Verschiebungen einstellen können, die zu einer schnellen Resonanzbildung beitragen.
Bitte beachten Sie, dass dieses Kapitel nur das Ziel hat, Ihnen grob den Zusammenhang zwischen Kondensatoren und Oberschwingung zu vermitteln. Ziehen Sie zur Planung einer Elektroenergienetzerweiterung oder Blindstromkompensationsanlage immer ein entsprechendes Fachunternehmen hinzu.

Praxistip von Blindstromkompensationsanlagen-Herstellern:
Wenn das Verhältnis von oberschwingungserzeugenden Geräten/ Maschinen in kW zur Gesamtleistung des Betriebs 15 % übersteigt, sollten immer verdrosselte Blindstromanlagen eingesetzt werden.

5.5 Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) und elektrische Antriebe

Allgemeine rechtliche Grundlage

Nachdem die EG-Kommission durch die EMV-Richtlinie eine europäische Regelung geschaffen hatte, wuchs der Bedarf an EMV-Normen. Die Schaffung von Europa-Normen erfolgt in der europäischen Normenorganisation „CENELEC“, innerhalb der sich das „TC 110“ mit EMV-Fragen befasst.

Die Normenstruktur besteht aus:

- Grundnorm (basic norm)
- Fachgrundnormen (generic norms)
- Produktnormen (product norms)

In den Fachgrundnormen für Störaussendung und Störfestigkeit werden die Anforderungen an die Betriebsmittel entsprechend den Umgebungsbedingungen, in denen sie betrieben werden, festgelegt.

Die speziellen Normen für bestimmte Produkte oder Produktfamilien (Produktnormen) haben **allerdings Vorrang** vor den Fachgrundnormen.

Die EN 50081-1/-2 und EN 50082-1/-2 sind Fachgrundnormen (generic norms). Die EN 61800-3 ist eine EMV-Produktnorm für elektrische Antriebe, sie hat damit Vorrang vor der EN 50081/82.

5.5.1 EMV-Normung elektrischer Antriebe

Die für elektrische Antriebe maßgebende EMV-Norm ist die EN 61800-3. Sie nimmt ihrerseits Bezug auf verschiedene Grundnormen, in denen Messverfahren festgelegt sind.

Die EMV-Produktnorm EN 61800-3 hat Vorrang vor allen Anforderungen der Fachgrundnormen (generic norms) EN 50081-1/-2 und EN 50082-1/-2. Sie deckt alle notwendigen Prüfungen ab. Nur wenn ein elektrischer Antrieb in ein anderes Gerät eingebaut wird, für das eine spezielle EMV-Produktnorm existiert, so ist die EMV-Produktnorm dieses Gerätes anzuwenden.

Der Leistungsbereich eines Antriebssystems erstreckt sich von <100 W zum Anschluss an Niederspannungsnetze und mit 230 V bis >1 MW zum Anschluss an Mittelspannungsnetze. Dieser große Bereich kann durch die allgemein gehaltenen Fachgrundnormen allein nicht abgedeckt werden.

So gibt es die Fachgrundnormen zur Störfestigkeit, wo die Anforderung an die äußeren Anschlüsse (ports) und meist nur Geräte mit $I \leq 16$ A definiert sind. Die Fachgrundnormen zur Störaussendung wiederum sehen nur Messungen für Geräte zum Anschluss an Niederspannungsnetze vor.

Bei Messungen auf einem Messplatz stehen oftmals nur Netznachbildungen im Strombereich von 16 A bis 100 A zur Verfügung. Diese Einschränkungen waren der Grund, eine EMV-Produktnorm für drehzahlveränderbare elektrische Antriebe zu erstellen, nach der alle Antriebssysteme entsprechend den Vorgaben der EMV-Richtlinie beurteilt werden können.

EMV-Produktnorm für drehzahlveränderbare elektrische Antriebe

---

EN 61800-3:2004 Drehzahlveränderbare elektrische Antriebssysteme, Teil 3: EMV-Produktnorm einschließlich spezieller Prüfverfahren. Die Übergangsfrist für die alte EN 61800-3:1996 endet am 1. Oktober 2007.

Die EN 61800-3 umfasst das elektrische Antriebssystem vom Netzanschluss bis zum Wellenabgang des Motors, definiert unterschiedliche Kategorien C1 bis C4, unterschiedliche Umgebungen (Wohnbereich/ Industriebereich), äußere Anschlüsse (ports) und interne Schnittstellen (interfaces). Sie legt Bewertungskriterien für das Betriebsverhalten bei Störeinwirkung an den äußeren Anschlüssen (ports) und den internen Schnittstellen (interfaces) fest und enthält Anforderungen zur Störfestigkeit entsprechend der Umgebung am Einsatzort.

Begriffsdefinitionen

Erste Umgebung (Wohn-, Geschäfts- und Gewerbebereich): Umgebung, die Wohnbereiche enthält und außerdem Einrichtungen, die ohne Zwischentransformator direkt an ein Niederspannungsnetz angeschlossen sind, das Wohngebäude versorgt.

Zweite Umgebung (Industriebereich): Einrichtungen, die nicht direkt an ein Niederspannungsnetz zur Versorgung von Wohnbereichen angeschlossen sind.

Privates Netz

Das private Netz ist dadurch charakterisiert, dass es durch eine eigene Trafostation vom Mittelspannungsnetz gespeist wird und keine Wohnbereiche versorgt. Typischerweise versorgt das private Netz Verwaltungsgebäude, Bürohochhäuser, Einkaufszentren usw. Es obliegt der Entscheidung des Betreibers, ob er das Netz entsprechend der ersten oder der zweiten Umgebung im Sinne der Norm ausführt.

Ein privates Niederspannungsnetz kann in Übereinstimmung mit dem EMV-Gesetz wie eine Anlage betrachtet werden. Die EMV wird an der physikalischen Grenze der Anlage beurteilt, Abstrahlung und Einstrahlung an der räumlichen Grenze, leitungsgebundene Phänomene an der Netzeinspeisung (Mittel- bzw. Hochspannungsanschluss).

PDS der Kategorie C1

PDS mit einer Nennspannung < 1000 V zum Einsatz in der ersten Umgebung.

PDS der Kategorie C2

PDS zum Einsatz in der ersten Umgebung, die alle nachfolgenden Kriterien erfüllen:

- Nennspannung < 1000 V
- Nicht über Steckvorrichtungen angeschlossen
- Nicht ortsveränderlich
- Anschluss und Inbetriebnahme erfolgen nur durch Personen, die über technischen EMV-Sachverstand verfügen.
- Warnhinweis erforderlich

Warnhinweis in der Dokumentation:
Dies ist ein Produkt der Kategorie C2 nach IEC 61800-3. In einer Wohnumwelt kann dieses Produkt hochfrequente Störungen verursachen, in deren Fall Entstörmaßnahmen erforderlich sein können.

PDS der Kategorie C3

PDS mit einer Nennspannung < 1000V, zum Einsatz in der zweiten Umgebung. Der Einsatz in der ersten Umgebung ist nicht vorgesehen.

Warnhinweis in der Dokumentation:
“Dieses PDS ist nicht für den Anschluss an das öffentliche Netz vorgesehen. Beim Anschluss an diese Netze kann es zu EMV-Störungen kommen".

PDS der Kategorie C4

PDS zum Anschluss in der zweiten Umgebung, die mindestens einem der folgenden Kriterien entsprechen:

- Nennspannung > 1000 V
- Nennstrom > 400 A
- Anschluss an IT-Netze
- geforderte dynamische Eigenschaften werden aufgrund der EMV-Filtermaßnahmen nicht erreicht

Ein EMV-Plan ist zu erstellen!

Anforderungen der EN 61800-3 zur Störfestigkeit entsprechend der Umgebung am Einsatzort

Im niederfrequenten Bereich (< 9 kHz)
• gegen Oberschwingungen entsprechend IEC 61000-2-2 /-4 • gegen Kommutierungseinbrüche der Netzspannung entsprechend IEC 60146-1-1 • gegen Spannungsänderungen, -schwankungen, -einbrüche und -unterbrechungen entsprechend IEC 61000-2-2-2 • gegen Spannungsunsymmetrien und Frequenzänderungen entsprechend IEC 61000-2-2 /-4

Im hochfrequenten Bereich (> 9 kHz)
• gegen elektrostatische Entladung (ESD) entsprechend IEC 61000-4-2 • gegen hochfrequente elektromagnetische Felder entsprechend IEC 61000-4-3 • gegen schnelle transiente Spannungen (Burst) entsprechend IEC 61000-4-4 • gegen Stoßspannungen (Surge) entsprechend IEC 61000-4-5 • gegen leitungsgeführte Störgrößen, induziert durch hochfrequente Felder entsprechend IEC 61000-4-6

Anforderungen der EN 61800-3 zur Störaussendung entsprechend der Umgebung am Einsatzort

Im niederfrequenten Bereich (< 9 kHz)
• von Oberschwingungen entsprechend IEN 61000-3-2/-12 • von Spannungsschwankungen/Flicker entsprechend IEG 61000-3-3/-11 • von Kommutierungseinbrüchen der Netzspannung entsprechend IEG 60146-1-1

Anmerkung:

Zweite Umgebung
Hier können vom Betreiber zentrale Maßnahmen zur Reduzierung der Störaussendung getroffen werden. Die Störaussendung des einzelnen Gerätes kann nach Absprache festgelegt werden.

Im hochfrequenten Bereich (> 9 kHz)
• von Störspannungen entsprechend EN 61800-3 • von Störstrahlungen entsprechend EN 61800-3

Erste Umgebung

Kategorie C1	Kategorie C2
Grenzwerte der EN 61800-3 stimmen mit EN 55011 Klasse B überein	Grenzwerte der EN 61800-3 stimmen mit EN 55011 Klasse A Gruppe 1 überein

Zweite Umgebung

Kategorie C3	Kategorie C4
Grenzwerte der EN 61800-3 stimmen mit EN 55011 Klasse A Gruppe 2 überein	Störaussendungen überschreiten die Grenzwerte von EN 55011 Klasse A Gruppe 2

Planung und Ausführung

Neben der funktionalen Aufgabe einer Komponente, Maschine oder Anlage sind auch die EMV-Maßnahmen bereits in der Planungsphase zu beachten. Nur dort ist eine kostengünstige Berücksichtigung von EMV-Belangen möglich. In der Testphase oder gar im Betrieb reduzieren sich die möglichen Maßnahmen drastisch, und die Kosten steigen.

Verantwortlich für die Einhaltung des EMV-Gesetzes ist letztendlich derjenige, der eine Maschine oder Anlage "in Verkehr bringt".

Es ist daher wichtig, dass der Hersteller/Errichter einer Maschine oder Anlage bereits beim Kauf der Komponenten darauf achtet, dass die EMV-Belange berücksichtigt sind und Angaben vorhanden sind, wie die Konformität zur EMV-Richtlinie zu erreichen ist.

Für die drehzahlveränderbaren Antriebe maßgebend ist die unter der EMV-Richtlinie gelistete Norm EN 61800-3. Sie hat als EMV-Produktnorm Vorrang vor den Fachgrundnormen. EN 61800-3 sieht nicht die einzelne Komponente (Antriebsregler, Motor ...), sondern das sogenannte Power Drive System (PDS) als Ganzes, das alle zu einem Antriebssystem gehörenden Komponenten von der Einspeisung bis zum Motor enthält. Es wird also die Konformität eines kompletten Systems und nicht die einer einzelnen Komponente erklärt.

Komponenten werden in der Regel nur an Fachleute verkauft und sind zur fachgerechten Weiterverwendung bestimmt. Eine CE-Kennzeichnung dieser Komponenten bezieht sich in den meisten Fällen lediglich auf die Niederspannungsrichtlinie, nicht jedoch auf die EMV-Richtlinie. Deren Anforderungen sind durch die Berücksichtigung des Einsatzbereiches, durch einen sachgerechten Aufbau und ggf. durch die Verwendung zusätzlicher Entstörmaßnahmen (Filter ...) zu erreichen. Hierzu stützt sich der Weiterverwender auf Angaben in der Dokumentation der Komponentenhersteller.

Diese können zum Beispiel sein:

- Art der Leitungsverlegung,
- konstruktive Abschirmmaßnahmen,
- Art und max. Länge der Motorleitung,
- zu verwendende Filter.

Einsatzbereiche

Die EMV-Verantwortung eines Gerätes, eines Systems oder einer Anlage liegt je nach Vertriebsweg, Art des Inverkehrbringens und Einsatzbereich in unterschiedlichen Händen. Letztendlich ist eine gute Zusammenarbeit von Stufe zu Stufe der Wertschöpfungskette der einfachste Weg zum EMV-konformen Endprodukt.

Die nachfolgenden Beispiele sollen dem Leser einen Überblick über die nur auf den ersten Blick kompliziert erscheinende EMV-Thematik verschaffen.

Erste Umgebung (Wohn-, Geschäfts- und Gewerbebereich)

Power Drive Systems (PDS) werden in der Regel nicht als eigenständige Betriebsmittel in privaten Haushalten eingesetzt. Sie sind Bestandteil von Geräten wie Hausgeräten, Elektrowerkzeugen, Klimageräten etc.

Die EMV-Verantwortung für diese Art von Anwendungen liegt beim Gerätehersteller. Werden PDS in Installationen wie Aufzügen, Heizungsanlagen oder Klimaanlagen eingesetzt, so liegt die EMV-Verantwortung beim Installateur bzw. beim Errichter der Anlage. Diese sollten bereits in der Planungsphase die EMV-relevanten Produkteigenschaften und die Installationsvorschritten der Komponentenhersteller beachten.

Zweite Umgebung (Industriebereich)

Die elektromagnetische Verträglichkeit eines oder mehrerer PDS in einem Industrienetz kann bei Beachtung der einschlägigen Normen und Grenzwerte normalerweise bereits im Planungsstadium sichergestellt werden. Im niederfrequenten Bereich werden hierzu die zu erwartenden Störaussendungen, ihre Auswirkungen im speisenden Netz und die der weiteren Kompensationsmaßnahmen berechnet.

Bei höheren Frequenzen werden quantitative Vorhersagen einerseits zunehmend unsicherer (unbekannte Einflüsse von z. B. parasitären Kapazitäten und Induktivitäten), verlieren aber andererseits auch an Bedeutung, da in Industrienetzen erfahrungsgemäß nur selten Störungen bei Hochfrequenz (z. B. Funkstörspannung) vorkommen. Probleme können in der Regel vermieden werden, wenn man

- die Installationshinweise der Hersteller befolgt,
- Signal- und Leistungskabel räumlich getrennt verlegt,
- empfindliche Geräte nicht in unmittelbarer Nähe von leistungsstarken Antrieben sowie an einem separaten Netz betreibt
- und die Antriebe ggf. mit speziellen HF-Filtern und geschirmten Kabeln versieht.

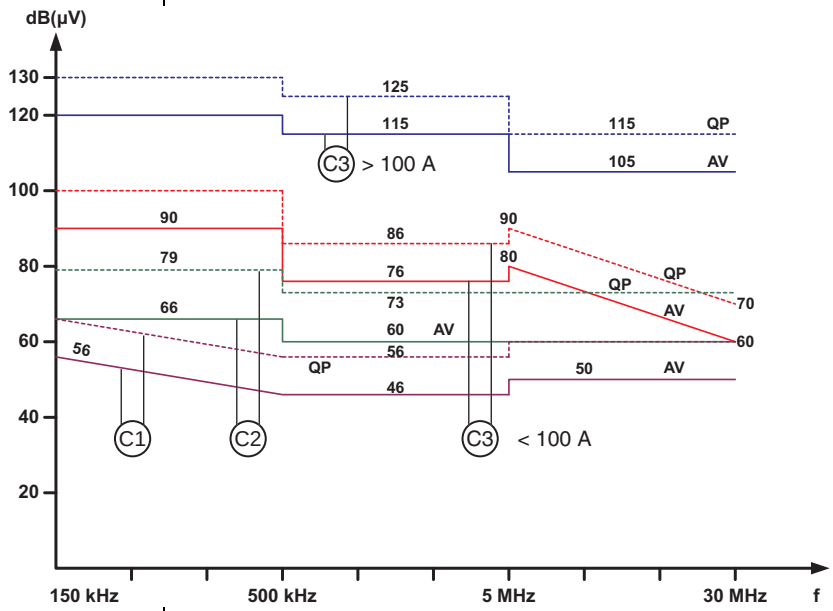
Bei der EMV-Planung im Industriebereich muss besonders beachtet werden, dass diese im Hinblick auf den Verknüpfungspunkt mit dem öffentlichen Netz mit dem zuständigen Energieversorgungsunternehmen abgestimmt wird und dass erhöhte Anforderungen innerhalb des Industrienetzes, die z. B. über genormte Grenzwerte hinausgehen, zwischen dem Hersteller und dem Anwender vereinbart werden müssen.

Wesentliche Bedeutung im Industrienetz haben leitungsgebundene Netzrückwirkungen im niederfrequenten Bereich:

- periodische Spannungseinbrüche durch Kommutierungsvorgänge innerhalb der Stromrichter,
- Spannungsverzerrungen durch überlagerte Oberschwingungsströme,
- Spannungsschwankungen durch schnelle Laständerungen (insbesondere Blindleistung. Laständerungen sind in der Regel vom Prozess vorgegeben).

Die Technik bietet eine Reihe von Möglichkeiten, diese Netzrückwirkungen in Grenzen zu halten und die EMV sicherzustellen.

5.5.2 Grenzkurve für elektrische Antriebe (PDS)



Erste Umgebung

Kategorie C1	Kategorie C2
Grenzwerte der EN 61800-3 stimmen mit EN 55011 Klasse B überein.	Grenzwerte der EN 61800-3 stimmen mit EN 55011 Klasse A Gruppe 1 überein.

Zweite Umgebung

Kategorie C3	Kategorie C4
Grenzwerte der EN 61800-3 stimmen mit EN 55011 Klasse A Gruppe 2 überein.	Störaussendungen überschreiten die Grenzwerte von EN 55011 Klasse A Gruppe 2.
EN 61800-3 definiert Messverfahren und Grenzwerte an den Grenzen zu Anlagen, die von einem anderen Mittelspannungstrafo versorgt werden entsprechend EN 55011 Klasse B oder Klasse A Gruppe 1.	

5.5.3 Typischer Messaufbau für die Abnahme von elektrischen Antrieben

Zum Nachweis der Einhaltung der vom Gesetzgeber geforderten EMV-Normen wird neben den internen Messungen auch eine Überprüfung an einem externen „Akkreditierten EMV-Prüflabor“ durchgeführt.

Um Ihnen einen Eindruck über die vom Gesetzgeber geforderten Messungen und Messaufbauten zu geben, haben wir nachfolgend aus dem Prüfbericht P030947 der Fa. Mectronic einige Tabellen und Bilder ausgekoppelt.

Die Tabellen und Bilder beziehen sich auf den Positionierregler für Asynchronmotoren Typ: CDB34.032, W1.0, BR (15 kW, 400 V).

Tabelle der durchgeführten Prüfungen

Mindeststörfestigkeitsanforderungen für Antriebssysteme (PDS), die für den Einsatz in industrieller Umgebung vorgesehen sind (2. Umgebung)

Normenbezug	Prüfung	Grundnorm	durch-geführt	erfüllt
EN 61800-3, Tab.6 Gehäuse	**Elektrostatische Entladung (ESD)** ±6 kV Kontaktentladung oder alternativ ±8 kV Luftentladung (wenn Kontaktentladung nicht möglich)	EN 61000-4-2 Kriterium B	ja	ja
	Elektromagnetische Felder 10 V/m, 80-1000 MHz, 80 % AM/1 kHz	EN 61000-4-3 Kriterium A	ja	ja
Leistungsanschluss	**Schnelle Transienten (Burst)** ±2 kV, asym., 5/50ns tr/th, trep	EN 61000-4-4 Kriterium B	ja	ja
	HF induziert auf Leitungen 10 V, 0,15-80 MHz, 80 % AM/1 kHz (CDN-Koppelnetzwerk)	EN 61000-4-6 Kriterium A	ja	ja
	Energiereiche Impulse (Surge) ±1 kVsym., ±2 kV unsym., 1,2/50 µs	EN 61000-4-5 Kriterium B	ja	ja
Leistungsschnittstellen	**Schnelle Transienten (Burst)** ±2 kV, asym., 5/50ns tr/th, trep 5 kHz (mit Burst-Koppelzange)	EN 61000-4-4 Kriterium B	ja	ja
Signalschnittstellen	**Schnelle Transienten (Burst)** ±2 kV, asym., 5/50ns tr/th, trep 5 kHz (mit Burst-Koppelzange)	EN 61000-4-4 Kriterium B	ja	ja
	HF induziert auf Leitungen 10 V, 0,15-80 MHz, 80 % AM/1 kHz (CDN-Koppelzange)	EN 61000-4-6 Kriterium A	ja	ja
Anschlüsse für prozessnahe Mess- und Regelfunktionen	**Schnelle Transienten (Burst)** ±2 kV, asym., 5/50ns tr/th, trep 5 kHz (mit Burst-Koppelzange)	EN 61000-4-4 Kriterium B	ja	ja
	HF induziert auf Leitungen 10 V, 0,15-80 MHz, 80 % AM/1 kHz (CDN-Koppelzange)	EN 61000-4-6 Kriterium A	ja	ja

Tabelle 5.7 Störfestigkeit

Störaussendungsanforderungen für Antriebssysteme (PDS) mit eingeschränkter Erhältlichkeit, die für den Einsatz in industriellen Netzen vorgesehen sind (2. Umgebung).

Normenbezug	Prüfung	Grundnorm	durchgeführt	erfüllt
EN 61800-3 6.3.1.1, Tab.11	**Funkentstörung** 0,15 ... 30 MHz	CISPR 11 Klasse A	ja	ja
EN 61800-3 6.3.1.2, Tab.12	**Funkentstörung** 30 ... 1000 MHz	CISPR 11 Klasse A	ja	ja

Tabelle 5.8 Störaussendung

Verwendete Prüfmittel

Identifikation	Bezeichnung	Typ	Hersteller
Q009150	Funkstör-Messempfänger (9 kHz ... 30 MHz)	ESHS10	Rohde & Schwarz
Q018552	Funkstör-Messempfänger (20 kHz ... 1000 MHz)	ESVS10	Rohde & Schwarz
Q009506	Freifeldmessplatz	CSD	X Messsysteme
Q020930	Hybrid Antenne (30 ... 1000 MHz)	BTA-L	Frankonia
Q010892	Feldstärkemessgerät	PMM 8051	Isotropic
Q010893	I/O-Wandler	OR-1 PMM 8051	Isotripic
Q020998	HF-Sonde	BA 01	Isotropic
Q006012	V-Netznachbildung 3ph	ESH2-Z5	Rohde & Schwarz
Q009896	Impulsbegrenzer	HZ 560	Hameg
Q019631	Signal-Generator	PSG 1000B	Farnell
Q025191	Signal-Generator	HP 8657 B	Hewlett Packard
Q018112	Leistungsverstärker	3100 LA	ENI
Q009387	Leistungsverstärker	30W1000M7	Amplifier Research
Q019630	Leistungsverstärker	75 A 220	Amplifier Research
Q020713	Millivoltmeter	URV 55	Rohde & Schwarz
Q018060	ESD-Prüfpistole	NSG 435	Schaffner
Q006038	Störsimulator	NSG 600	Schaffner
Q006036	Burst Generator Einschub	NSG 625	Schaffner

Tabelle 5.9 Verwendete Prüfmittel

Identifikation	Bezeichnung	Typ	Hersteller
Q030065	Surge Generator	UCS500	EM Test
Q009397	Koppelnetzwerk	CCN 2000	Schaffner
Q006030	Kapazitive Koppelzange	SL400-071	Schaffner
Q017110	HF-Koppelzange	EM 101	Lüthi
Q020742	Koppelnetzwerk	CDN M5 32A	Fiedler

Tabelle 5.9 Verwendete Prüfmittel

Fotos zu den Prüfaufbauten

Bild 5.16 Funkstörspannung und Funkstörfeldstärke (Boden ohne Absorber), HF-Einstrahlung

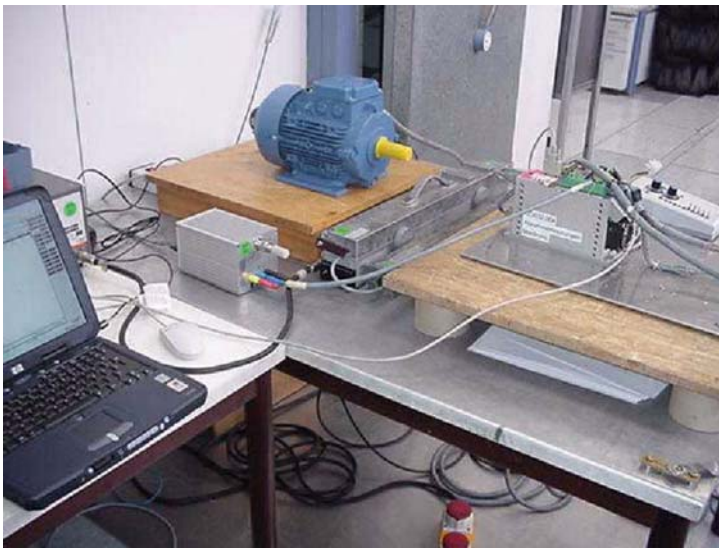


Bild 5.17 HF-Einkopplung auf Leitungen (Bild wurde von Prüfbericht P030941 übernommen)

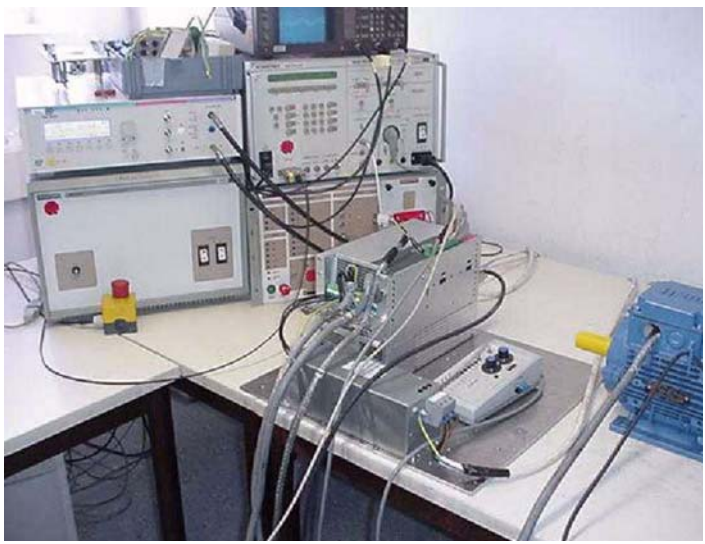


Bild 5.18 Schnelle Transienten (Burst) und energiereiche Impulse (Surge) auf die Netzleitung

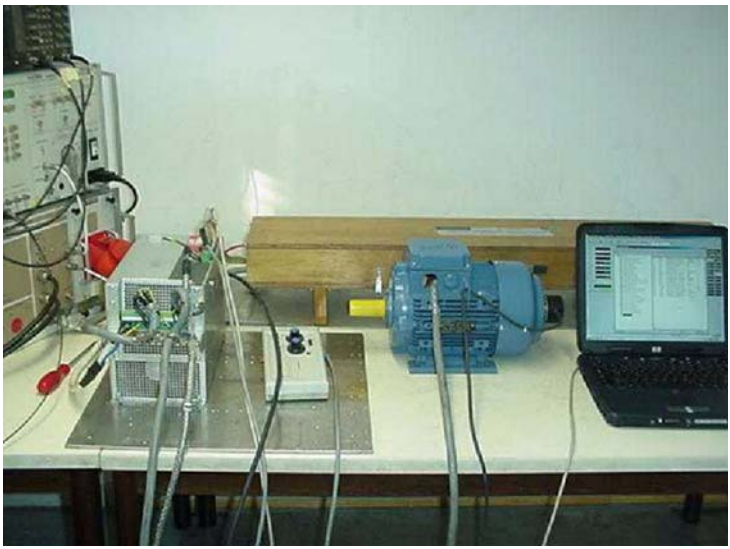


Bild 5.19 Schnelle Transienten (Burst) auf Signal- und Datenleitungen

Bild 5.20 Statische Entladungen (ESD), Kontaktentladung

Bild 5.21 Freifeldmessung zur Funkstörfeldstärke

5.5.4 Aufbaurichtlinien für Schaltschränke

Um die EMV in Schaltschränken sicherzustellen und um die vom Gesetzgeber geforderten Schutzziele und Normen einzuhalten, sind nachfolgende Aufbaurichtlinien zu beachten.

Thema	Projektierungs- und Installationsvorschrift
Schutzleiteranschluss Potenzialausgleich	Metallisch blanke Montageplatte verwenden. Möglichst große Kabelquerschnitte und/oder Massebänder einsetzen. Schutzleiteranschluss der Komponenten sternförmig verlegen. Zum Herstellen einer niederohmigen HF-Verbindung muss die Erdung (PE) und der Schirmanschluss großflächig auf die PE-Schiene der Montageplatte gelegt werden. PE-Netzanschluss nach DIN VDE 0100 Teil 540 • Netzanschluss < 10 mm²: Schutzleiterquerschnitt mind. 10 mm² oder zwei Leitungen mit dem Querschnitt der Netzleitungen verwenden. • Netzanschluss > 10 mm²: Schutzleiterquerschnitt entsprechend des Querschnittes der Netzleitungen verwenden.
Kabelführung	• Motorleitung getrennt von Signalleitungen und Netzleitung verlegen. Mindestabstand zwischen Motorleitung und Signalleitung/Netzleitung muss 20 cm betragen, ggf. Trennblech verwenden. • Motorleitung ohne Unterbrechung immer auf dem kürzesten Weg aus dem Schaltschrank führen. • Falls ein Motorschütz oder Motordrossel/-filter verwendet wird, sollte dieser direkt am Antriebsregler platziert werden. Schirm des Motorkabels nicht zu früh absetzen. • Unnötige Leitungslängen vermeiden.
Kabeltyp	Die Antriebsregler sind immer mit geschirmten Motorleitungen und Signalleitungen zu verdrahten. Für alle geschirmten Anschlüsse muss ein Kabeltyp mit doppeltem Kupfergeflecht, das 60-70 % Überdeckung aufweist, verwendet werden.
Weitere Tipps für den Schaltschrankaufbau	• Schütze, Relais, Magnetventile (geschaltete Induktivitäten) sind mit Löschgliedern zu beschalten. Die Beschaltung muss direkt an der jeweiligen Spule erfolgen. • Geschaltete Induktivitäten sollten mindestens 20 cm von prozessgesteuerten Baugruppen entfernt sein. • Größere Verbraucher in der Nähe der Einspeisung platzieren. • Signalleitungen möglichst nur von einer Seite einführen. • Leitungen des gleichen Stromkreises sind zu verdrillen. Generell wird Übersprechen verringert, wenn Leitungen nahe an geerdeten Blechen verlegt werden. Restadern an beiden Enden mit Schaltschrankmasse (Erde) verbinden.

Tabelle 5.10 Projektierungs- und Installationsvorschrift

Thema	Projektierungs- und Installationsvorschrift
Ergänzende Informationen	Ergänzende Informationen finden Sie bei der jeweiligen Anschlussbeschreibung

Tabelle 5.10 Projektierungs- und Installationsvorschrift

- Da die Komponenten im Schaltschrank nicht nur Antriebsregler sind, sondern Steuerungen, Schaltnetzteile, Regler und Sensoren mit unterschiedlichster Störaussendung und Störfestigkeit, macht es in der Praxis keinen Sinn, eine einzige universelle **Aufbaurichtlinie** zu führen.
- Aufbaurichtlinien sind Empfehlungen vom Hersteller und sollten selbstverständlich von Maschinen-, Anlagen- und Schaltschrankbauern je nach Erkenntnisstand optimiert werden.

Weitere Hilfen finden Sie in der Broschüre „EMV-gerechter Schaltschrankaufbau“ der Firma Rittal in Herborn (www.rittal.de).

5.5.5 Sechzehn Maßnahmen zur EMV nach DIN VDE 0100 Teil 440

Der Leser, welcher sich weiter mit dem Thema „EMV“ beschäftigen möchte, dem empfehlen wir die „EMV-Fibel“ von Wilhelm Rudolph.

EMV-Fibel
für Elektroinstallateure und Planer
Wilhelm Rudolph
VDE-Verlag,
ISBN 3-8007-2613-0

Die „EMV-Fibel“ wendet sich an Praktiker, d.h. den Planer und Errichter, der sich täglich mit dem Installationsgeschäft auseinander setzen muss.

Besonders herausgestellt werden die Berührungspunkte zwischen der modernen Informationstechnik und der klassischen Energietechnik, die für die EMV von Bedeutung sind:

- Potenzialausgleich
- Erdung
- Schirmung
- Trennung
- geeignete Netzformen (z. B. TN-S-System)

In der EMV-Fibel wird dargestellt, dass die EMV-Verträglichkeit in Gebäuden durch 16 Maßnahmen erreicht wird.

Diese sind:

1. Anordnung möglicher Störquellen außerhalb des Empfindlichkeitsbereichs von störanfälligen Betriebsmitteln.
2. Anordnung störanfälliger Betriebsmittel außerhalb der Einflussbereiche von Hochleistungsstrukturen (Laststationen, Tranformatorstationen), Hochstromschienen oder Betriebsmittel großer Leistung z. B. Aufzugsantrieben.
3. Einbau von Entstörfiltern oder (und) Überspannungsableitern in Stromkreisen zur Versorgung störanfälliger elektrischer Betriebsmittel.
4. Auswahl von Schutzeinrichtungen mit geeigneter Charakteristik für eine Zeitverzögerung, um unerwünschtes Auslösen bei transienten (kurzzeitigen) Überspannungen zu vermeiden.
5. Herstellen eines Potenzialausgleichs für metallene Umhüllung:
   - Potenzialausgleich
   - Schirmung
   - Entlastungsleiter für Kabel- und Leitungsschirme

6. Ausreichend räumliche Trennung (Abstand oder Schirmung) voneinander und rechtwinklige Kreuzung von Energie- und Signalkabel oder -leitungen untereinander.
7. Ausreichende räumliche Trennung (Abstand oder Schirmung) von Energie- und Signalkabel oder -leitungen von Blitzschutzsystemen (LPS).
8. Vermeiden von Induktionsschleifen durch die Wahl gemeinsamer Kabel- und Leitungswege (oder -trassen) verschiedener Systeme.
9. Verwenden von Signalkabeln oder -leitungen, die geschirmt oder (und) mit verdrillten Aderpaaren ausgeführt sind.
10. Potenzialausgleichsleiter oder -verbindungen sind so kurz wie möglich auszuführen.
11. Kabel- und Leitungsanlagen mit mehreren einadrigen Leitern sind in metallenen Umhüllungen oder in gleichwertigen Vorrichtungen zu führen.
12. Vermeiden von TN-C-Systemen in Anlagen mit störanfälligen (sensiblen) Betriebsmitteln der Informationstechnik.
13. TN-C-Systeme in Gebäuden.
14. Potenzialausgleich bei der Einführung von Leitungen in Gebäuden.
15. Maßnahmen für Bereiche (Gebäude) unterschiedlicher (getrennter) Potenzialausgleichsanlagen.
16. Für bestehende Anlagen (Maßnahmen für Anlagen) die entsprechend früherer Normen noch nicht ausreichend die Anforderungen zur EMV berücksichtigt haben.

5.6 Sicherheitstechnik für Maschinen mit elektrischen Antrieben

Nachfolgend geben wir Ihnen einen Überblick zu den EN-Normengruppen: „Sicherheitstechnik für Maschinen“. Danach wird schwerpunktmäßig auf das Thema: „Sicherheitstechnik für Maschinen mit elektrischen Antrieben“ eingegangen. Es wird im Speziellen auf die Norm IEC61800-Teil 5-2 (Entwurf) EN 954-1 und EN 60204-1 Bezug genommen. Desweiteren geben wir Ihnen in Kapitel 5.6.5 eine Übersicht über die zukünftigen Normen EN ISO 13849 und EN ISO 62061. Die verwendeten Normen werden nicht abgedruckt, sondern es wird lediglich deren Inhalt zitiert oder auf die Anwendungsbereiche hingewiesen.

EN 954-1/ISO 13849: Die Norm EN 954-1, zukünftig EN ISO 134849 oder EN ISO 62061, enthält sicherheitstechnische Festlegungen im Sinne des Gerätesicherheitsgesetzes. Sie beschäftigt sich mit allen Teilen einer Maschinensteuerung, die für Sicherheitsaufgaben eingesetzt werden. Diese Teile können aus Hardware (Schütz, Endschalter, SPS, Servoregler, Antriebsregler u. a.) und/oder Software (Anwenderprogramme, Firmware u. a.) bestehen. Für die Realisierung in programmierbarer Technik gelten die zukünftigen Normen (siehe Kapitel 5.6.5).

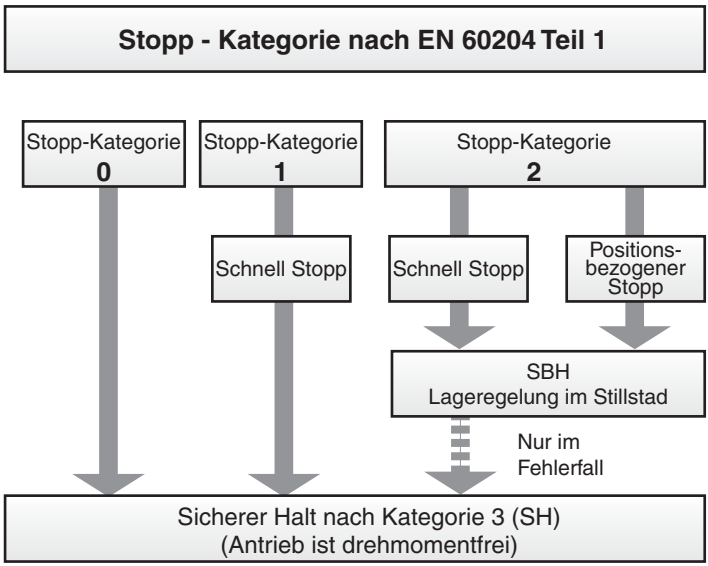
Die Anwendung einer der beiden Normen EN ISO 13849 oder EN ISO 62061 ist ausreichend zur Erfüllung der Schutzziele laut Maschinenrichtlinie.

IEC 61800-Teil 5-2 (Entwurf): Die Produktnorm IEC 61800 Teil 5-2 legt Anforderungen fest und gibt Empfehlungen für die Entwicklung von drehzahlveränderlichen elektrischen Antrieben, die für die Verwendung in sicherheitsbezogenen Anwendungen geeignet sind.
Die Norm ist nur anzuwenden, wenn der elektrische Antrieb mit integrierter Sicherheitstechnik ausgestattet werden soll.

In die Produktnorm IEC 61800-5-2 sind Anforderungen aus den Normen EN 292, EN 1050, EN 9541, IEC/EN 61508 und dem Positionspapier DKE-AK 226.03 eingeflossen.

EN 60204-1/IEC 60204-1 (Rev. in Vorbereitung): Die Norm EN 60204 Teil 1 beschreibt verschiedene Stopp-Kategorien zum differenzierten Stillsetzen von Antrieben. Das Stillsetzen ist keine eigenständige Funktion, sondern beschreibt den Vorgang, der mit Hilfe einer Sicherheitssteuerung realisiert werden kann. Für die Realisierung in programmierbarer Technik gelten die zukünftigen Normen (siehe Kapitel 5.6.5).

Die Funktionen werden in der Praxis meist mit einfachen elektromechanischen Bauteilen realisiert. Sie können aber auch mit programmierbaren elektronischen drehzahlveränderlichen Antrieben realisiert werden. Die Realisierung der komplexen Funktion mit elektrischen Antrieben ist im Draft IEC 61800-5-2 beschrieben.



Stopp Kategorie	Systemverhalten/ Anforderung	Beispiel
0	**Ungesteuertes Stillsetzen:** Durch sofortiges Abschalten der Energiezufuhr zu den Maschinenantriebselementen.	Der Antrieb wird über die Funktion „Sicherer Halt (SH)“ drehmomentfrei geschaltet. Ein Antrieb, der noch in Bewegung ist, trudelt aus.
1	**Gesteuertes Stillsetzen:** Energiezufuhr zu den Maschinenantriebselementen wird beibehalten, um das Stillsetzen zu erreichen. Die Energiezufuhr wird erst unterbrochen, wenn der Stillstand erreicht ist.	Der Antrieb wird drehzahlgeregelt an der Stromgrenze abgebremst und anschließend in den „Sicheren Halt (SH)“ überführt.
2	**Gesteuertes Stillsetzen:** Bei dem die Energiezufuhr zu den Maschinenantriebselementen auch im Stillstand beibehalten wird.	Der Antrieb wird drehzahlgeregelt abgebremst und anschließend in den „Sicheren Betrieb“ überführt (Lageregelung im Stillstand).

Tabelle 5.11 Stopp-Kategorie

Positionspapier DKE-AK 226.03

Das Positionspapier beschreibt die auf die Sicherheit von Personen bezogenen Funktionen elektrischer Antriebssysteme und legt Anforderungen hierzu fest. Es werden ausschließlich elektrische Antriebssysteme betrachtet, welche überwiegend in Maschinen angewandt werden und deren elektrische Steuerungskomponenten Sicherheitsfunktionen übernimmt.

Die in dem Positionierpapier beschriebenen Anforderungen beziehen sich auf das funktionale Verhalten eines Antriebssystems. Das Papier ist eine Weiterentwicklung der EN 60204-1 bezogen auf elektrische Antriebssysteme und dient unter anderem als Diskussionspapier (Positionspapier) zur Erstellung der neuen Norm EN 61800-Teil 5-2.

5.6.1 Richtlinien und EN-Normengruppe

Seit Anfang 1995 gilt die CE-Kennzeichnungspflicht nach der Maschinenrichtlinie. Sie definiert grundlegende Anforderungen an die Sicherheit von Maschinen und damit den Schutz für Betreiber und Anwender. Die sicherheitstechnischen Anforderungen sind den EN-Normen „Sicherheit für Maschinen“ zu entnehmen. Die EN-Normen sind in die Hauptgruppen „A, B und C“ unterteilt.

A-Norm
A-Normen enthalten grundlegende Begriffe, Gestaltungsleitsätze und Leitsätze zur Risikobeurteilung für alle Maschinen.

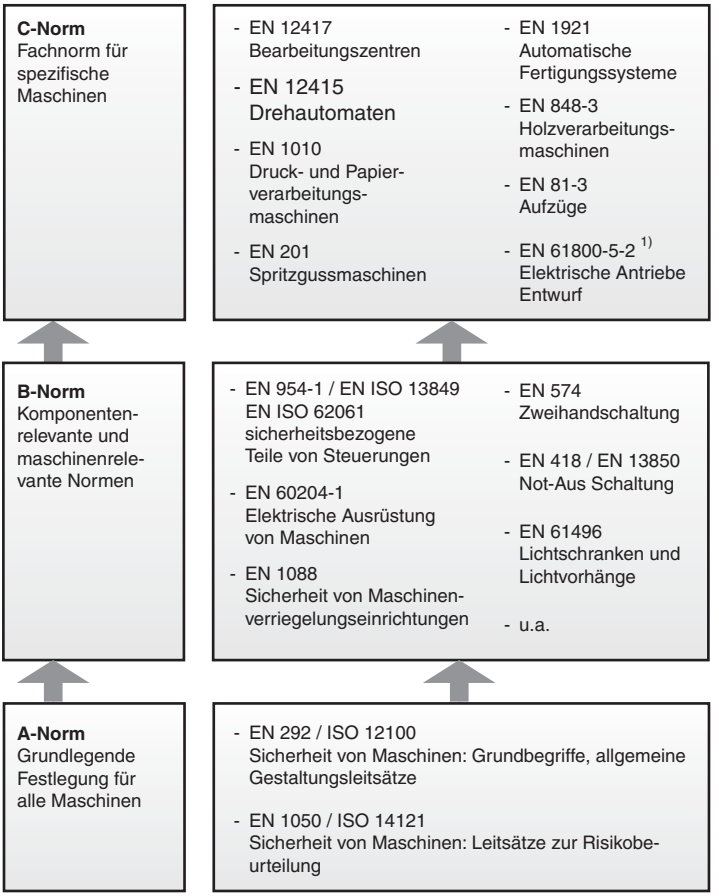
B-Norm
B-Normen enthalten alle Normen mit sicherheitstechnischen Aussagen, die mehrere Arten von Maschinen betreffen können. B-Normen sind für alle Hersteller von Maschinen wichtig, für die keine C-Norm vorliegt.

C-Norm
C-Normen sind sogenannte Fachnormen für spezielle Maschinentypen wie z. B. Werkzeugmaschinen, Druckmaschinen, Aufzüge u.a. Die C-Normen haben Vorrang vor A- und B-Normen.
Der Maschinenhersteller kann davon ausgehen, dass er damit die grundlegende Anforderung der Maschinenrichtlinie einhält (automatische Vermutungswirkung).

Eine neue EG-Maschinenrichtlinie ist für Mitte 2007 geplant. Die Übergangsfrist wird 18 Monate betragen.
Es werden Änderungen zu den Themen:

- Unvollständige Maschinen (Teilmaschinen)
- MRL-Anhang 1
- Marktaufsicht
- Konfirmitätsbewertung
- Sicherheitsbausteine

erwartet.


C-Norm
Fachnorm für spezifische Maschinen
- EN 12417 Bearbeitungszentren
- EN 12415 Drehautomaten
- EN 1010 Druck- und Papierverarbeitungsmaschinen
- EN 201 Spritzgussmaschinen
- EN 1921 Automatische Fertigungssysteme
- EN 848-3 Holzverarbeitungsmaschinen
- EN 81-3 Aufzüge
- EN 61800-5-2 1) Elektrische Antriebe Entwurf
B-Norm
Komponentenrelevante und maschinenrelevante Normen
- EN 954-1 / EN ISO 13849 EN ISO 62061 sicherheitsbezogene Teile von Steuerungen
- EN 60204-1 Elektrische Ausrüstung von Maschinen
- EN 1088 Sicherheit von Maschinenverriegelungseinrichtungen
- EN 574 Zweihandschaltung
- EN 418 / EN 13850 Not-Aus Schaltung
- EN 61496 Lichtschranken und Lichtvorhänge
- u.a.
A-Norm
Grundlegende Festlegung für alle Maschinen
- EN 292 / ISO 12100 Sicherheit von Maschinen: Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze
- EN 1050 / ISO 14121 Sicherheit von Maschinen: Leitsätze zur Risikobeurteilung

1) harmonisiert unter MRL ab ca. 2006

Bild 5.22 Übersicht wichtiger A-, B- und C-Normen

Eine vollständige Aufstellung aller gelisteten Normen sowie der mandatierten Normungsvorhaben finden Sie im Internet unter: http://www.newapproach.org.

5.6.2 Gefahrenanalyse und Risikominderung

Bevor eine Maschine in Verkehr gebracht werden darf, muss der Hersteller der Maschine nach der Maschinenrichtlinie 98/37/EWG eine Gefahrenanalyse durchführen. Über die Gefahrenanalyse werden die mit dem Einsatz der Maschine verbundenen Gefahren ermittelt. Das Verfahren ist in der EN 1050 (A-Norm) „Leitsätze zur Risikobeurteilung“ näher beschrieben. Es handelt sich bei dem Verfahren um einen interaktiven Prozess zum Erreichen von Sicherheit.

Sicherheit ist ein relativer Begriff in der technischen Welt. Hundertprozentige Sicherheit ist leider nicht durchführbar. Das verbleibende Restrisiko ist definiert als: „Risiko, das nach Ausführung der Schutzmaßnahme verbleibt“. Hierbei sind unter Schutzmaßnahme die Maßnahmen zur Risikominderung zu verstehen.

Mit der Erstellung der Gefahrenanalyse und der Maßnahme zur Risikominderung sind die Voraussetzungen gegeben, die Kategorie für sicherheitsbezogene Steuerungen nach EN 954-1 festzulegen. Die Kategorien sind abgestuft nach Höhe des Risikos, siehe Tabelle 5.12. Weitere Details zum Thema: Gefahrenanalyse, Risikobewertung und Ermittlung der notwendigen Steuerungsanforderungen entnehmen Sie bitte der gültigen Normen- und Rechtslage, da es den Rahmen dieser Kurzübersicht sprengen würde.

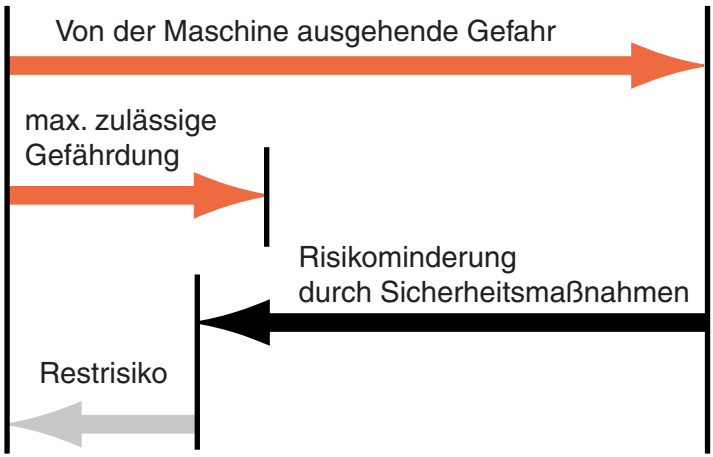


Bild 5.23 Systematik der Gefahrenanalyse

Sicherheits-kategorie[1)]	Kurzfassung der Anforderungen	Systemverhalten[2)]	Prinzipien zum Erreichen der Sicherheit
B	Die sicherheitsbezogenen Teile von Steuerungen und/oder ihre Schutzeinrichtungen als auch ihre Bauteile müssen in Übereinstimmung mit den zutreffenden Normen so gestaltet, gebaut, ausgewählt, zusammengestellt und kombiniert werden, dass sie den zu erwartenden Einflüssen standhalten.	Das Auftreten eines Fehlers kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen.	überwiegend durch Auswahl von Bauteilen charakterisiert
1	Die Anforderungen von B müssen erfüllt sein. Bewährte Bauteile und bewährte Sicherheitsprinzipien müssen angewendet werden.	Das Auftreten eines Fehlers kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen, aber die Wahrscheinlichkeit des Auftretens ist geringer als in Kategorie B.	
2	Die Anforderungen von B und die Verwendung bewährter Sicherheitsprinzipien müssen erfüllt sein. Die Sicherheitsfunktion muss in geeigneten Zeitabständen durch die Maschinensteuerung geprüft werden.	• Das Auftreten eines Fehlers kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion zwischen den Prüfungsabständen führen. • Der Verlust der Sicherheitsfunktion wird durch die Prüfung erkannt.	überwiegend durch die Struktur charakterisiert
3	Die Anforderungen von B und die Verwendung bewährter Sicherheitsprinzipien müssen erfüllt sein. Sicherheitsbezogene Teile müssen so gestaltet sein, dass: • ein einzelner Fehler in jedem dieser Teile nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führt und • wann immer in angemessener Weise durchführbar, der einzelne Fehler erkannt wird.	• Wenn der einzelne Fehler auftritt, bleibt die Sicherheitsfunktion immer erhalten. • Einige, aber nicht alle Fehler werden erkannt. • Eine Anhäufung unerkannter Fehler kann zum Verlust der Sicherheitsfunktion führen.	
4	Die Anforderungen von B und die Verwendung bewährter Sicherheitsprinzipien müssen erfüllt sein. Sicherheitsbezogene Teile müssen so gestaltet sein, dass: • ein einzelner Fehler in jedem dieser Teile nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führt und • der einzelne Fehler bei oder vor der nächsten Anforderung an die Sicherheitsfunktion erkannt wird oder, wenn dies nicht möglich ist, eine Anhäufung von Fehlern dann nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führt.	• Wenn Fehler auftreten, bleibt die Sicherheitsfunktion immer erhalten. • Die Fehler werden rechtzeitig erkannt, um einen Verlust der Sicherheitsfunktion zu verhindern.	

1) Die Kategorien sind nicht dazu bestimmt, in irgendeiner gegebenen Reihenfolge oder hierarchischen Anordnung in Bezug auf die sicherheitstechnischen Anforderungen angewendet zu werden.
2) Aus der Risikobeurteilung wird sich ergeben, ob der gesamte oder teilweise Verlust der Sicherheitsfunktion(en) aufgrund von Fehlern akzeptabel ist.

Tabelle 5.12 Beschreibung der Anforderungen für die Bestimmung der Sicherheitskategorien nach EN 954-1

5.6.3 „Sicherer Halt“ nach EN 954-1 Kategorie 3

Der „Sichere Halt“ nach EN 954-1 beschreibt eine Schutzmaßnahme als Verriegelungs- oder Steuerfunktion. Die Kategorie 3 bedeutet, dass wenn ein einzelner Fehler auftritt, die Sicherheitsfunktion erhalten bleibt. Die sicherheitsbezogenen Teile müssen so gestaltet sein, dass:

- ein einzelner Fehler in jedem dieser Teile nicht zum Verlust der Sicherheitsfunktion führt und
- wann immer in angemessener Weise durchführbar, der einzelne Fehler erkannt wird.

Für die Funktion „Sicherer Halt“ nach EN 954-1-Kategorie 3 sind die Antriebsregler mit einem integrierten Schaltkreis mit Rückmeldekontakt ausgestattet. Die Logik unterbricht die Versorgungsspannung für die Impulsverstärker zur Ansteuerung der Leistungsendstufe. Kombiniert mit der Reglerfreigabe „ENPO“ wird zweikanalig verhindert, dass im Leistungskreis ein für die Erzeugung eines Drehfeldes im Motor geeignetes Impulsmuster ansteht.

Wichtige Hinweise zur Realisierung

Sicherheitskategorie: Die Ermittlung der für eine Anwendung erforderliche Sicherheitskategorie (Risikominderung) liegt in der Verantwortung des Maschinenbauers.
Galvanische Trennung: Über den „Sicheren Halt“ des Antriebsreglers erfolgt keine galvanische Trennung. Somit besteht keine Schutzfunktion gegen „Elektrischen Schlag“.
Krafteinwirkung von außen: Ist beim Antriebssystem mit „Sicherem Halt“ mit Krafteinwirkung von außen zu rechnen (z. B. Absacken hängender Lasten), sind zusätzlich Maßnahmen vorzusehen, welche die Bewegung sicher verhindert (mechanische Bremse).

Funktionsprüfung:

Die Funktion „Sicherer Halt, Schutz gegen unerwarteten Anlauf“ müssen Sie grundsätzlich auf korrekte Funktionstüchtigkeit überprüfen:

- bei Erstinbetriebnahme,
- nach jedem Eingriff in die Verdrahtung der Anlage,
- nach jedem Austausch einer oder mehrerer Betriebsmittel der Anlage.

Kurzschluss im Leistungsteil des Antriebsreglers:

Durch je einen Kurzschluss in zwei versetzten Zweigen des Leistungsteils kann eine, von der Polzahl des Motors abhängige, kurzzeitige Achsbewegung ausgelöst werden.

Beispiel Synchronmotor: Bei einem 6-poligen Synchronmotor kann die Bewegung maximal 30 Grad betragen. Bei einer direkt angetriebenen Kugelrollspindel, z. B. 20 mm pro Umdrehung, entspricht dies einmalig einer maximalen Linearbewegung von 1,67 mm.

Bei Einsatz eines Asynchronmotors haben die Kurzschlüsse in zwei versetzten Zweigen des Leistungsteils nahezu keine Auswirkung, da das Erregerfeld mit dem Sperren des Wechselrichters zusammenbricht und nach ca. 1 s vollständig abgeklungen ist.

Not-Aus-Einrichtung:

Die Aussagen zu diesem Thema sind nicht mehr eindeutig geklärt, deshalb möchten wir nachfolgende Aussagen in Praxis und Norm trennen.

Praxis: Mit der Funktion „Sicherer Halt“ ist ohne zusätzliche Maßnahmen kein „Not-Aus“ möglich. Zwischen Motor und Antriebsregler gibt es keine galvanische Trennung.

Handlung im Notfall nach EN13850: Die EN 13850 (2004), welche sich mit der Sicherheit des Maschinen-Not-Halts beschäftigt, löst die EN 418 (Schutz von Maschinen-Not-Aus-Einrichtung) ab.

Neue Begriffsdefinition:

NOT-HALT für Stillsetzen im Notfall
Not-Halt ist eine Handlung im Notfall, die dazu bestimmt ist, einen gefahrbringenden Prozess oder Bewegung anzuhalten (EN 60204-1).

NOT-AUS für Ausschalten im Notfall
Not-Aus ist eine Handlung im Notfall, die dazu bestimmt ist, die Versorgung der elektrischen Energie abzuschalten, falls ein Risiko durch elektrischen Schlag oder andere Risiken elektrischen Ursprungs besteht (EN 60204-1).

Sicherer Halt (Not-Halt) mit CDE3000

1) Man erreicht mit dieser Lösung „Not-Halt (SK3)“ entsprechend EN 13850, wenn Fehlerausschluss „Kurzschluss über Not-Aus 11/12“ begründet und dokumentiert werden kann, z. B. durch entsprechende Leitungsführung oder Schutzvorrichtungen.

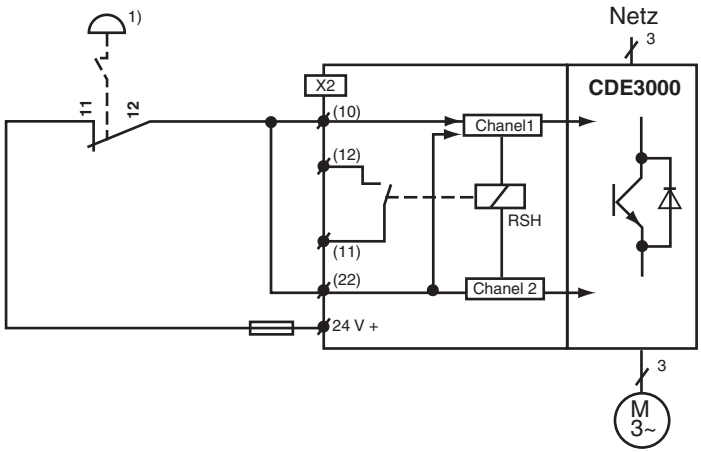


Bild 5.24 Sicheren Halt anfordern für Stillsetzen im Notfall (Not-Aus-Abschaltung)

ENPO	ISD00 (CDB)[4] ISDSH (CDE)	Sicherer Halt	Reglerzustand	Relais [1] OSD02 / (CDB)[4] RSH (CDE)
L	L	EIN[3]	Endstufe über zwei Kanäle gesperrt. Hardware-Wiederanlaufsperre aktiv.	
L	(L) ➜ H	EIN	Endstufe über zwei Kanäle gesperrt. Hardware-Wiederanlaufsperre aktiv.	
(H) ➜ L	H	AUS	Endstufe über einen Kanal gesperrt.	
H	L	EIN	Endstufe über zwei Kanäle gesperrt. Hardware-Wiederanlaufsperre aktiv.	
H	(L) ➜ H	EIN	Endstufe über zwei Kanäle gesperrt. Hardware-Wiederanlaufsperre aktiv.	
(L) ➜ H[2]	H[2]	AUS[3]	Endstufe betriebsbereit.	

( ) Vorausgegangener Zustand
1) 3 x 10^6 Schaltspiele bei 200 mA (Ruhelage: Schließer)
2) Um die Wiederanlaufsperre zu deaktivieren, müssen die Steuersignale gleichzeitig (max. Fehler 5 ms) auf High (H) gesetzt werden oder ISD00 (ISDSH) sicher vor ENPO auf High (H) gesetzt werden.
3) Schaltkombination für Sicherer Halt, Kategorie 3
4) CDB3000 ist nur in Sonderausführung mit „Sicherem Halt“ erhältlich.

Schaltungsbeispiele mit CDE3000 und Sicherheitsrelaisbaustein

Die nachfolgenden Schaltungsbeispiele wurden gemeinsam mit der Fa. ELAN Schaltelemente GmbH & Co. KG ausgearbeitet. Die Schaltungsvorschläge sollen Ihnen einen Überblick über die Lösungsmöglichkeiten geben. Bitte prüfen Sie die Vorschläge immer hinsichtlich der Eignung in Ihrem individuellen Anwendungsfall und legen Sie einen Validierungsplan fest.

Elan Schaltelemente GmbH & Co. KG
Im Ostpark 2
35435 Wettenberg
www.elan.de

Die LTi DRiVES GmbH und die ELAN Schaltelemente GmbH & Co. KG übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende Haftung übernehmen, die auf die Benutzung der Schaltvorschläge zurückzuführen ist.

Validieren: Entspricht die Lösung dem sicherheitstechnischen Anforderungen?

Legen Sie immer einen Validierungsplan fest. Im Plan wird festgehalten, mit welchen Prüfungen und Analysen Sie die Übereinstimmung der Lösung (z. B. Schaltungsvorschlag) mit den Anforderungen aus Ihrem Anwendungsfall ermittelt haben. Prüfen Sie in jedem Fall, ob

- alle sicherheitsbezogenen Ausgangssignale in richtiger und logischer Weise von den Eingangssignalen erzeugt werden.
- das Verhalten im Fehlerfall den festgelegten Schaltungskategorien entspricht.
- die Steuerung und die Betriebsmittel für alle Betriebsarten und Umgebungsbedingungen ausreichend dimensioniert sind.

Erstellen Sie nach Abschluss der Analysen und Prüfungen einen Validierungsbericht.

Dieser sollte mindestens beinhalten:

- alle zu prüfenden Gegenstände
- das für die Prüfung zuständige Personal
- Prüfeinrichtungen (einschließlich Einzelheiten der Kalibrierung) und Simulationsinstrumente
- die durchgeführten Prüfungen
- die festgestellten Probleme und deren Lösung
- die Ergebnisse

Bewahren Sie die dokumentierten Ergebnisse in nachvollziehbarer Form auf.

Informieren Sie den Benutzer über die richtige Verwendung, die Leistungsfähigkeit und die Leistungsgrenzen der sicherheitsbezogenen Teile.

Instruieren Sie den Benutzer, wie dieser die Leistungsfähigkeit der sicherheitsbezogenen Teile erhalten soll, insbesondere dann, wenn von Ihnen getroffene Fehlerausschlüsse spezielle Instandhaltungsarbeiten erforderlich machen.

Bei der Festlegung der Sicherheitskategorien (SK) für die Schaltungsbeispiele haben wir folgenden Fehlerausschluss angenommen.

Fehlerausschluss:

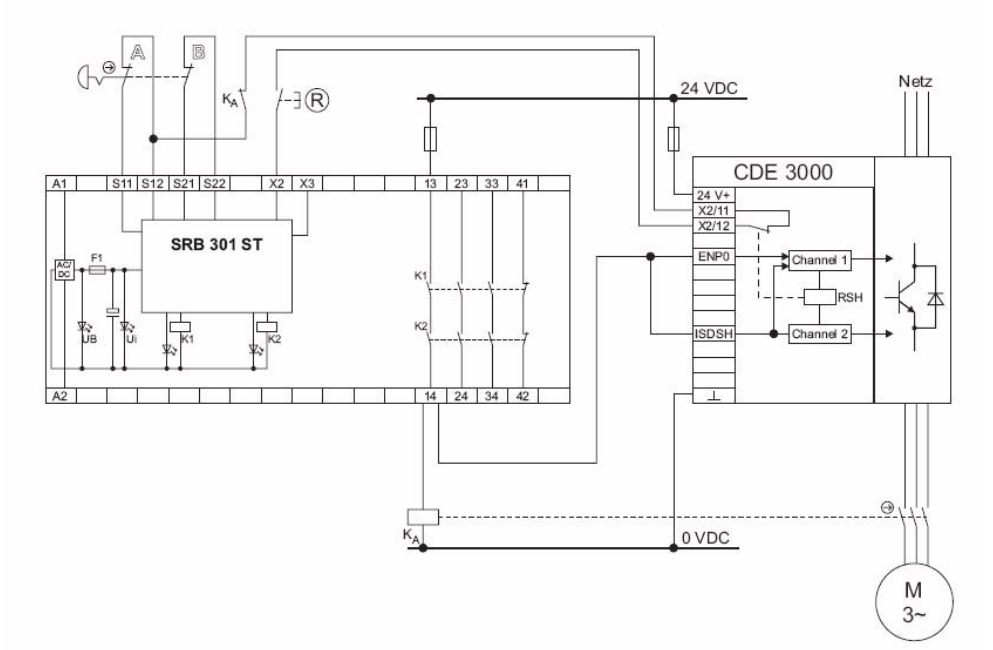
- Brückenbildung innerhalb der Verschaltung in Schaltschrank

Begründung:

- geschützter Einbau in Schaltschrank, bewährte Technik

Zweikanalige Not-Aus-/Not-Halt-Schaltung EN 418/EN 60947-5-5 mit Querschlusserkennung

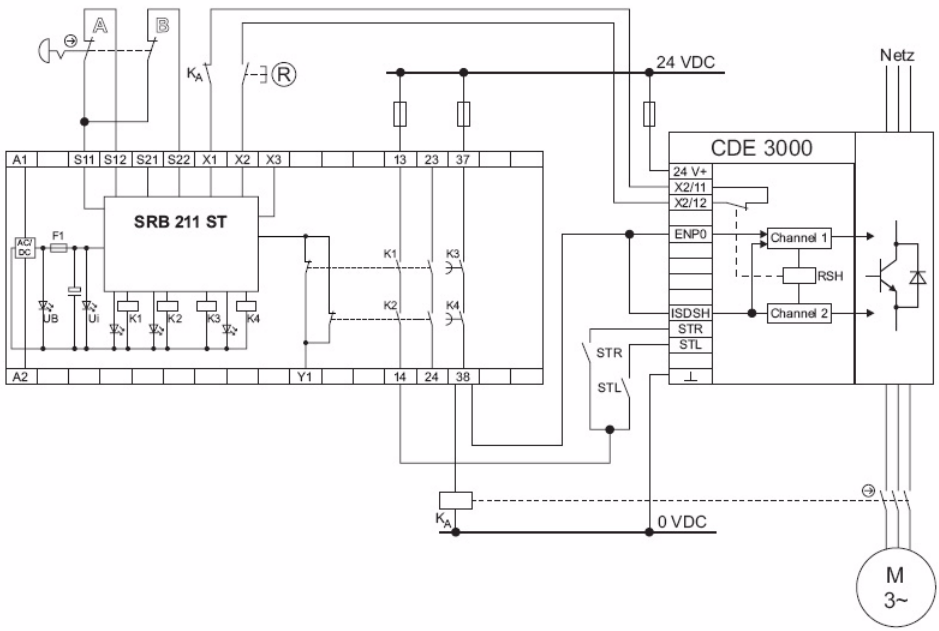
Konfiguration	Sicherheitskategorie (SK) EN 954-1	Stoppkategorie EN 60204-1
Sensor	SK4 mit Querschlusserkennung	-
CDE3000 mit Leistungsschütz K_A	SK4 durch Reihenschaltung von Leistungsschütz K_A mit Positionierregler CDE3000 in SK3-Ausführung	Stoppkategorie 0 (ungesteuertes Stillsetzen)
CDE3000 ohne Leistungsschütz K_A	Not-Halt nach EN 13850 mit SK3 durch Positionierregler CDE3000 in SK3-Ausführung	Stoppkategorie 0 (ungesteuertes Stillsetzen)



Bei räumlich getrennter Montage von Antriebsregler und Sicherheitsrelais ist die Lösungsvariante mit Leistungsschütz K_A zu bevorzugen. Es sollte darauf geachtet werden, dass die Leitungsführung zu K_A und CDE3000 getrennt durchgeführt wird oder ein entsprechender Fehlerausschluss (z. B. Schutzrohr) vorgenommen wird.

Zweikanalige Not-Aus-/Not-Halt-Schaltung EN 418/EN 60947-5-5 mit Stopp-Kategorie 1 nach EN 60204-1

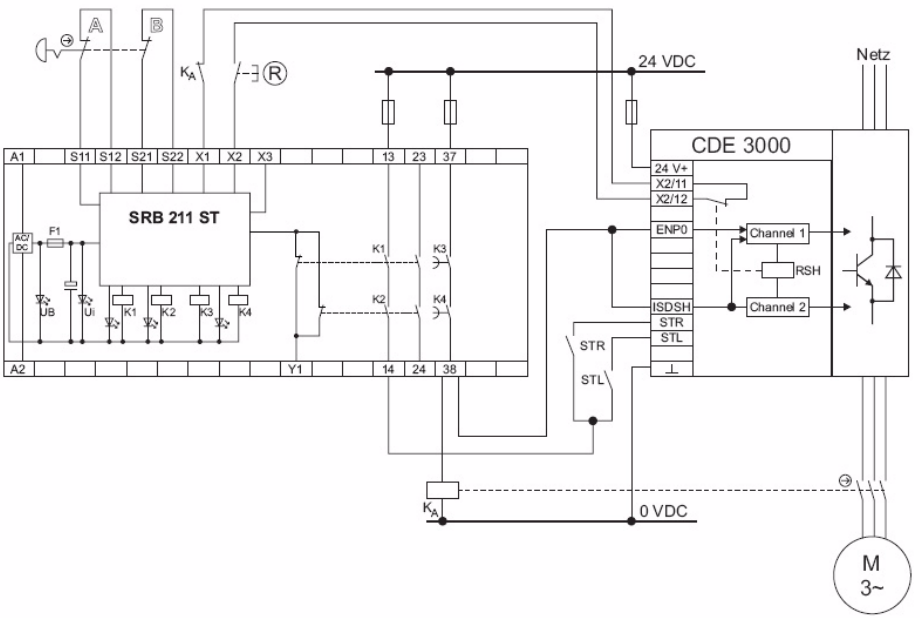
Konfiguration	Sicherheitskategorie (SK) EN 954-1	Stoppkategorie EN 60204-1
Sensor	SK3 ohne Querschlusserkennung	-
CDE3000 mit Leistungsschütz K_A	SK4 durch Reihenschaltung von Leistungsschütz K_A mit Positionierregler CDE3000 in SK3-Ausführung	Stoppkategorie 1 (gesteuertes Stillsetzen)
CDE3000 ohne Leistungsschütz K_A	Not-Halt nach EN 13850 mit SK3 durch Positionierregler CDE3000 in SK3-Ausführung	Stoppkategorie 1 (gesteuertes Stillsetzen)



Bei räumlich getrennter Montage von Antriebsregler und Sicherheitsrelais ist die Lösungsvariante mit Leistungsschütz K_A zu bevorzugen. Es sollte darauf geachtet werden, dass die Leitungsführung zu K_A und CDE3000 getrennt durchgeführt wird oder ein entsprechender Fehlerausschluss (z. B. Schutzrohr) vorgenommen wird.

Zweikanalige Not-Aus-/Not-Halt-Schaltung EN 418/EN 60947-5-5 mit Stoppkategorie 1 nach EN 60204-1 und Querschlusserkennung

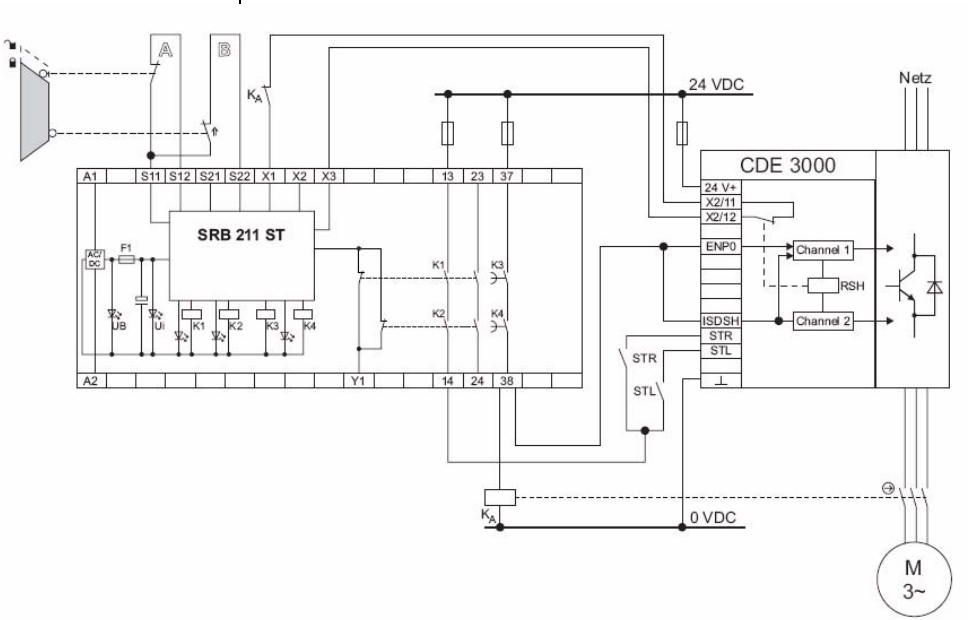
Konfiguration	Sicherheitskategorie (SK) EN 954-1	Stoppkategorie EN 60204-1
Sensor	SK4 mit Querschlusserkennung	-
CDE3000 mit Leistungsschütz K_A	SK4 durch Reihenschaltung von Leistungsschütz K_A mit Positionierregler CDE3000 in SK3-Ausführung	Stoppkategorie 1 (gesteuertes Stillsetzen)
CDE3000 ohne Leistungsschütz K_A	Not-Halt nach EN 13850 mit SK3 durch Positionierregler CDE3000 in SK3-Ausführung	Stoppkategorie 1 (gesteuertes Stillsetzen)



Bei räumlich getrennter Montage von Antriebsregler und Sicherheitsrelais ist die Lösungsvariante mit Leistungsschütz K_A zu bevorzugen. Es sollte darauf geachtet werden, dass die Leitungsführung zu K_A und CDE3000 getrennt durchgeführt wird oder ein entsprechender Fehlerausschluss (z. B. Schutzrohr) vorgenommen wird.

Zweikanalige Schutztürüberwachung nach EN 1088 mit mindestens einem zwangsöffnendem Positionsschalter

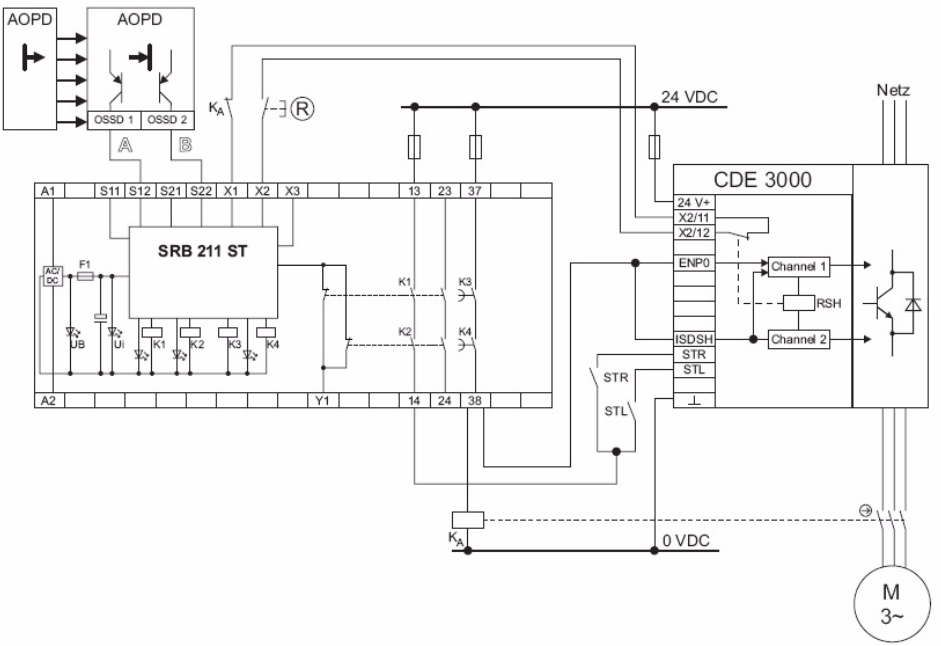
Konfiguration	Sicherheitskategorie (SK) EN 954-1	Stoppkategorie EN 60204-1
Sensor	SK3 ohne Querschlusserkennung	-
CDE3000 mit Leistungsschütz K_A	SK4 durch Reihenschaltung von Leistungsschütz K_A mit Positionierregler CDE3000 in SK3-Ausführung	Stoppkategorie 1 (gesteuertes Stillsetzen)
CDE3000 ohne Leistungsschütz K_A	Not-Halt nach EN 13850 mit SK3 durch Positionierregler CDE3000 in SK3-Ausführung	Stoppkategorie 1 (gesteuertes Stillsetzen)



Bei räumlich getrennter Montage von Antriebsregler und Sicherheitsrelais ist die Lösungsvariante mit Leistungsschütz K_A zu bevorzugen. Es sollte darauf geachtet werden, dass die Leitungsführung zu K_A und CDE3000 getrennt durchgeführt wird oder ein entsprechender Fehlerausschluss (z. B. Schutzrohr) vorgenommen wird.

Zweikanalige Ansteuerung mit sicherheitsgerichteten p-schaltenden Halbleiterelementen, z. B. AOPD's gemäß EN 61496

Konfiguration	Sicherheitskategorie (SK) EN 954-1	Stoppkategorie EN 60204-1
Sensor	SK3 mit Querschlusserkennung im Sensor (nicht durch das Sicherheitsrelais)	-
CDE3000 mit Leistungsschütz K_A	SK4 durch Reihenschaltung von Leistungsschütz K_A mit Positionierregler CDE3000 in SK3- Ausführung	Stoppkategorie 1 (gesteuertes Stillsetzen)
CDE3000 ohne Leistungsschütz K_A	Not-Halt nach EN 13850 mit SK3 durch Positionierregler CDE3000 in SK3-Ausführung	Stoppkategorie 1 (gesteuertes Stillsetzen)



Bei räumlich getrennter Montage von Antriebsregler und Sicherheitsrelais ist die Lösungsvariante mit Leistungsschütz K_A zu bevorzugen. Es sollte darauf geachtet werden, dass die Leitungsführung zu K_A und CDE3000 getrennt durchgeführt wird oder ein entsprechender Fehlerausschluss (z. B. Schutzrohr) vorgenommen wird.

Vorteile beim Einsatz von Antriebsreglern mit zertifiziertem „Sicherer Halt“ nach EN 954-1, Kategorie 3

Ihr Nutzen	Antriebsregler mit Steuerfunktion „Sicherer Halt“	Konventionelle Lösung durch externe Schaltelemente
Reduzierte Bauteile und reduzierter Schaltungsaufwand	• Einfache Beschaffung der zertifizierten Sicherheitsfunktion möglich. • Gruppenantrieb mit einem Hauptschütz möglich.	Zwei sicherheitsgerichtete Leistungsschütze in Reihenschaltung erforderlich.
Häufiges regelmäßiges Prüfen zulässig	Der Zustand „Sicherer Halt“ wird durch den Einsatz verschleißfreier elektronischer Bauelemente erreicht.	Dieses Leistungsmerkmal ist mit konventioneller Technik nicht zu erreichen.
Kurze Wiederanlaufzeiten	Der Antriebsregler wird leistungsseitig nicht vom Netz genommen, wodurch keine spürbaren Wartezeiten bei Wiederanlauf auftreten.	Der Antrieb muss leistungsseitig vom Netz genommen werden, wodurch immer längere Wiederanlaufzeiten in Kauf genommen werden müssen.
Besseres EMV-Verhalten	Besseres EMV-Verhalten durch die durchgängige Schirmung der Motorleitung.	Durch Leistungsschütze in der Motorleitung nicht möglich.

Tabelle 5.13 Vorteile des Einsatzes der Antriebsregler mit „Sicherem Halt“

5.6.4 Sicherheitsfunktionen für Bewegungsführung

Die Grundzüge der Sicherheitsfunktionen in Antriebssystemen sind im Positionspapier DKE-AK226.03 zusammengefasst.
Das Positionspapier dient unter anderem zur Erstellung der Produktnorm EN 61800-5-2 (Entwicklung von drehzahlveränderlichen Antriebssystemen).

In dem Papier werden Sicherheitsfunktionen beschrieben. Sicherheitsfunktionen, die vergleichbare Sicherheit, wie eine trennende Schutzeinrichtung und das Freischalten des Antriebs vom Netz, gewährleisten.

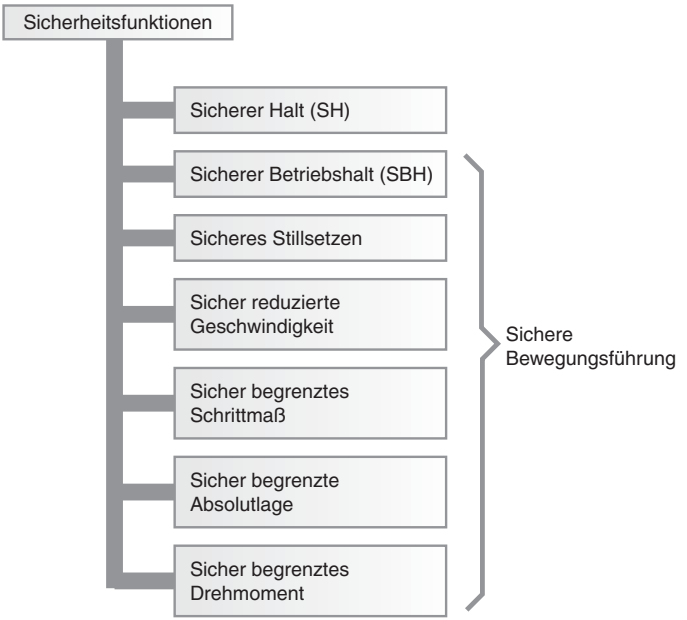


Bild 5.25 Sicherheitsfunktionen

Mit Ausnahme des „Sicheren Halts (SH)“ erfordern alle Sicherheitsfunktionen ein mindestens zweikanaliges Überwachungs- und Abschaltprinzip. Gelöst wird diese Anforderung durch eine zweikanalige Rechnerstruktur, welche die Forderung der sicheren Bewegungsführung (Bewegungssteuerung) und der EN 954-1 Kategorie 3 erfüllt.

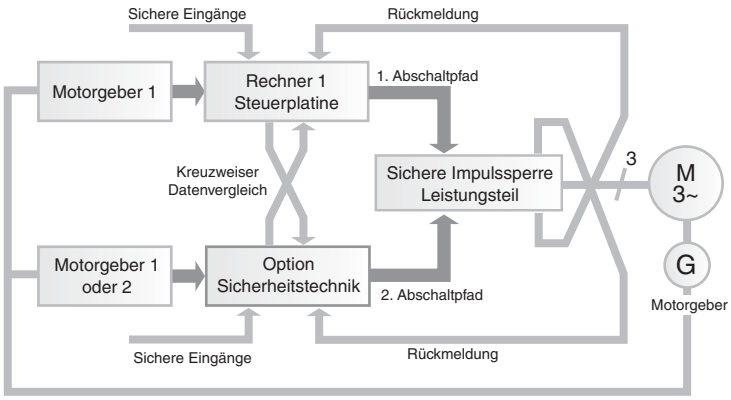


Bild 5.26 Zweikanalige Rechnerstruktur für die Sicherheitsfunktion einer Bewegungssteuerung

Bewegungssteuerung

In der Praxis wird in den meisten Fällen ein Motorgeber durch ein im Rechner implementiertes Motormodell ersetzt.

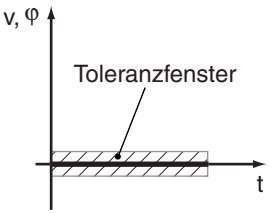
Die in den Gebern erzeugten Signale werden zweikanalig in Rechner 1 und 2 ausgewertet. Überwachungen für Geschwindigkeit, Position, Endlagen, Nocken werden also zweikanalig durchgeführt. Alle sicheren Eingänge, die z. B. zur Anwahl der sicherheitsrelevanten Maschinenfunktionen, wie sicher reduzierte Geschwindigkeit usw., dienen, sind ebenfalls redundant vorhanden. Der Funktionsblock „Impulssperre“ verarbeitet Stoppanforderungen zweikanalig. Im Fehlerfall (also beim Versagen der Sicherheitsfunktion) verfügen beide Rechner über einen unabhängigen Abschaltpfad.

Um Fehler in der sicherheitsgerichteten Steuerung zu erkennen, führen beide Rechner neben Selbsttests auch einen kreuzweisen Vergleich der sicherheitsrelevanten Daten durch. Eingänge mit langsamen oder seltenen Signalwechseln werden durch erzwungene Signalwechsel (Zwangsdynamisierung) überprüft. Der Test der Ausgänge erfolgt in regelmäßig erforderlichen Stoppzuständen (Teststopps).

Die aufgezeigte Rechnerstruktur wird in der Praxis unterschiedlich umgesetzt, Thema dieses Kapitels ist es, nicht auf die Umsetzung einzugehen, sondern auf die Sicherheitsfunktion selbst.

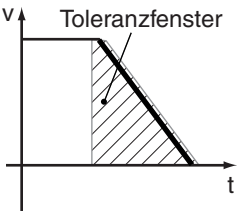
Sicherheitsfunktionen

Sicherer Betriebshalt (SBH)



Betriebshalt ist der Zustand, bei dem die mechanische Komponente im Stillstand gehalten wird, wobei der Antrieb sich im Zustand Drehzahl- oder Lageregelung befindet.

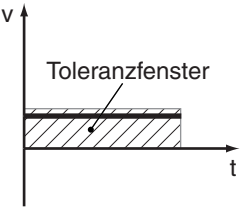
Sicheres Stillsetzen



Stillsetzen ist das Verringern der Bewegung bis zum Stillstand. Der Vorgang beginnt mit der Stoppanforderung und endet, wenn die Bewegung zum Stillstand gekommen ist. Der Sicherheitsantrieb überwacht den Geschwindigkeitsverlauf und evtl. die Zeit.

Sicheres Stillsetzen: Die Funktion sicheres Stillsetzen kann in verschiedenen Varianten erfolgen. Die verwendete Variante hängt von der Maschine bzw. der Risikoanalyse ab. Definiert sind die Varianten (Stoppkategorie 0, 1, 2) in der EN 60204 Teil 1, siehe Kapitel 5.6.

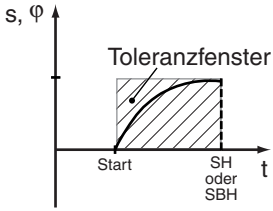
Sicher reduzierte Geschwindigkeit



Reduzierte Geschwindigkeit wird durch eine steuerungstechnische Maßnahme vorgegeben. Es wird die Geschwindigkeit eines Antriebs auf Überschreitung eines Maximalwertes überwacht.

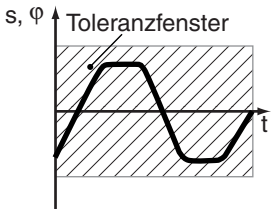
Sicher reduzierte Geschwindigkeit: Das Anwenden der Maßnahme „Sicher reduzierte Geschwindigkeit“ setzt voraus, dass sich eine Person einer Gefährdung durch gefahrbringende Bewegungen noch rechtzeitig entziehen kann. Im Allgemeinen kann dies angenommen werden, wenn die resultierende Geschwindigkeit bei Gefahr bringenden Bewegungen ohne Quetsch- und Schergefahr 15 m/min und bei Gefahr bringenden Bewegungen mit Quetsch- und Schergefahr 2 m/min nicht überschreitet.

Sicher begrenztes Schrittmaß



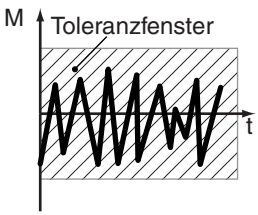
Begrenztes Schrittmaß ist eine Positionsänderung, die im Stillstand beginnt. Bei der ein zuvor festgelegter Weg/Winkel zurückgelegt wird und die im Stillstand endet. Ein vorgegebenes Schrittmaß darf nicht überschritten werden. Anschließend wird ein „Sicherer Halt“ (SH) oder ein „Sicherer Betriebshalt“ (SBH) wirksam.

Sicher begrenzte Absolutlage



Begrenzte Absolutlage ist die Absolutposition, bei der eine Bewegung zum Stillstand gekommen sein muss. Überwacht wird die Position eines Antriebs auf Überschreitung der zulässigen Endposition.

Sicher begrenztes Drehmoment



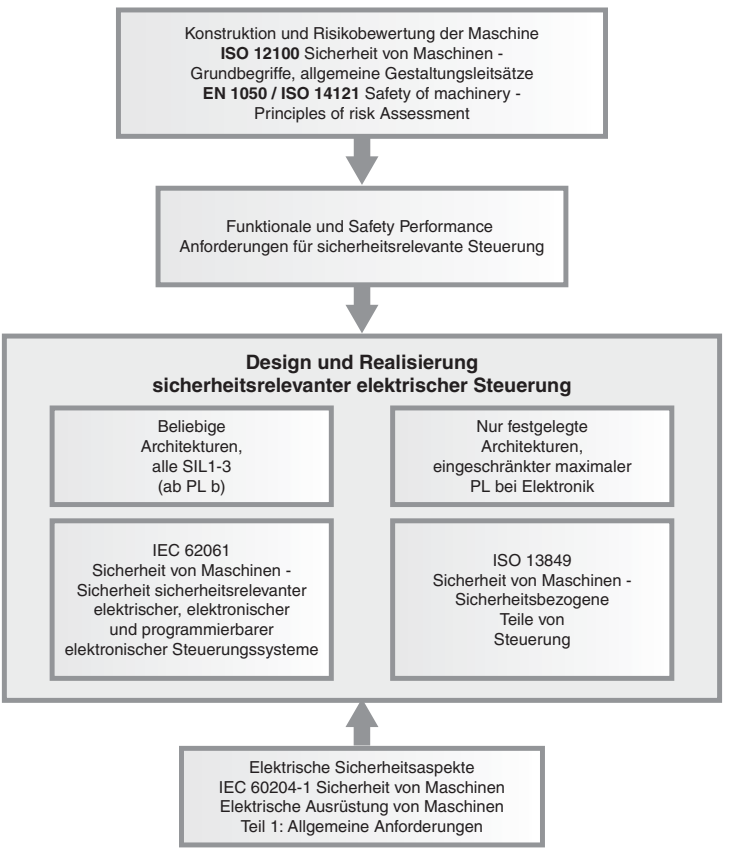
Überwachung des Drehmoments eines Antriebs auf Überschreitung von zulässigen Maximalwerten. Die Gefährdung durch gefahrbringende Bewegungen wird begrenzt.

5.6.5 Anwendung der zukünftigen EN ISO 13849-1 (EN 954-1) und EN IEC 62061

Der Inhalt dieses Kapitels basiert im Wesentlichen auf dem ZVEI-Flyer (Stand November 2004): „Anforderungen an moderne Steuerungssysteme für Sicherheitsaufgaben an Maschinen“.

Anwendungsbereich der Norm

Die EU-Maschinenrichtlinie verlangt, dass Maschinen sicher sein müssen und fordert als erstes Konstruktionsziel inhärente Sicherheit. Für konstruktiv nicht zu beseitigende Gefahren müssen zusätzliche Schutzeinrichtungen angebracht werden. EN ISO 12100 Teile 1 und 2 beschreiben grundlegende Gestaltungsleitsätze und technische Prinzipien, mit denen dieses Ziel erreicht werden kann. Wenn die Sicherheit von Steuerungsfunktionen abhängt, muss die Steuerung so realisiert werden, dass die Wahrscheinlichkeit von Funktionsfehlern ausreichend gering ist. Bei Verwendung programmierbarer elektronischer Systeme ist dazu die Norm IEC 61508 zu beachten. EN ISO 13849 und EN IEC 62061 geben Anleitungen spezifisch für die Sicherheit von Maschinensteuerungen.


Konstruktion und Risikobewertung der Maschine
ISO 12100 Sicherheit von Maschinen - Grundbegriffe, allgemeine Gestaltungsleitsätze
EN 1050 / ISO 14121 Safety of machinery - Principles of risk Assessment
Funktionale und Safety Performance Anforderungen für sicherheitsrelevante Steuerung
Design und Realisierung sicherheitsrelevanter elektrischer Steuerung
Beliebige Architekturen, alle SIL1-3 (ab PL b)
Nur festgelegte Architekturen, eingeschränkter maximaler PL bei Elektronik
IEC 62061 Sicherheit von Maschinen - Sicherheit sicherheitsrelevanter elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme
ISO 13849 Sicherheit von Maschinen - Sicherheitsbezogene Teile von Steuerung
Elektrische Sicherheitsaspekte IEC 60204-1 Sicherheit von Maschinen Elektrische Ausrüstung von Maschinen Teil 1: Allgemeine Anforderungen

Für die möglichen Gefährdungen einer Maschine müssen Risikobewertungen gemäß EN 1050 (zukünftig EN ISO 14121) gemacht werden, um festzustellen, ob ausreichende Sicherheit erreicht ist. Die Anforderungen von EN IEC 62061 und EN ISO 13849-1 zur Implementierung sicherheitsrelevanter Steuerungsfunktionen sind entsprechend der Höhe des zu beseitigenden Risikos abgestuft. Die Bemessungsgröße für diese Abstufung ist bei EN IEC 62061 (wie in IEC 61508) der Safety Integrity Level (SIL) und bei EN ISO 13849-1 der Performance Level (PL).

Performance Level (PL)		
Performance level (PL)	**Average probability of a dangerous failure per hour [l/h]**	**SIL [EN 61508-1 (IEC 61508-D]**
a	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$	no special safety reguirements
b	$\geq 3 \times 10^{-6}$ to $< 10^{-5}$	1
c	$\geq 10^{-6}$ to $< 3 \times 10^{-6}$	1
d	$\geq 10^{-7}$ to $< 10^{-6}$	2
e	$\geq 10^{-8}$ to $< 10^{-7}$	3
NOTE 1 The performance for each hazardous situation in this standard is divided into five levels „a“ to „e“ where the risk reduction contributed by the SRP/CS in „a“ is low and in „e“ is high.		
NOTE 2 It should be noticed that performance levels b and c together cover only one order of magnitude on the scale of average probabitity of a dangerous failure per hour (or one step on the SIL scale)		

Tabelle 5.14 Vergleich Safety Integrity Level (SIL) und Performance Level (PL)

Da es bei komplexen Maschinensteuerungen aussichtslos ist, alle Fehler nachträglich “herauszuprüfen", verwirklichen diese Normen außerdem den ganzheitlichen Ansatz, die gesamte Entwicklung und Projektierung von sicherheitsgerichteten Steuerungen von vorneherein auf Fehlervermeidung auszurichten. Beiden Normen gemeinsam ist auch der probabilistische Ansatz bei der Ermittlung gefährlicher Ausfallraten.

Die qualitative Betrachtung nach EN 954-1 ist für moderne Steuerungen aufgrund deren Technologie nicht ausreichend. Die EN 954-1 berücksichtigt u. a. kein Zeitverhalten (z. B. Testintervall bzw. zyklischer Test, Lebensdauer). Dies führte zu dem probabilistischen Ansatz in IEC 61508, EN IEC 62061 und EN ISO 13849-1 (Ausfallwahrscheinlichkeit pro Zeiteinheit).

Die Anwendungsbereiche der EN ISO 13849-1 und der EN IEC 62061 ähneln sich weitgehend. Zur Entscheidungshilfe für den Anwender haben deshalb die IEC-und ISO-Gremien die Anwendungsbereiche beider Normen in einer gemeinsamen Tabelle in der Einleitung der Normen präzisiert.

Je nach Technologie (Mechanik, Hydraulik, Pneumatik, Elektrik, Elektronik, programmierbare Elektronik), Risikoeinstufung und Architektur wird EN ISO 13849-1 oder EN IEC 62061 Anwendung finden.

Technologie zur Ausführung von sicherheitsrelevanten Steuerungsfunktionen	EN ISO 13849-1 (rev)	EN IEC 62061
A Nichtelektrisch z. B. Hydraulik, Pneumatik	X	Nicht abgedeckt
B Elektromechanik z. B. Relais und/oder einfache Elektronik	Beschränkt auf vorgesehene Architekturen (siehe Anm. 1) und maximal bis PL = e	Alle Architekturen und maximal bis SIL 3
C Komplexe Elektronik (z. B. Programmierbare Elektronik)	Beschränkt auf vorgesehene Architekturen (siehe Anm. 1) und maximal bis PL = d	Alle Architekturen und maximal bis SIL 3
D A kombiniert mit B	Beschränkt auf vorgesehene Architekturen (siehe Anm. 1) und maximal bis PL = e	X siehe Anmerkung 3
E C kombiniert mit B	Beschränkt auf vorgesehene Architekturen (siehe Anm. 1) und maximal bis PL = d	Alle Architekturen und maximal bis SIL 3
F C kombiniert mit A oder C kombiniert mit A und B	X siehe Anmerkung 2	X siehe Anmerkung 3

Anmerkung 1:
Vorgesehene Architekturen sind im Anhang B der EN ISO 13849-1 beschrieben und geben einen vereinfachten Ansatz für die Quantifizierung .
Anmerkung 2:
Für komplexe Elektronik: Verwendung vorgesehener Architekturen in Übereinstimmung mit der EN ISO 13849-1 bis PL = d oder jede Architektur in Übereinstimmung mit EN IEC 62061.
Anmerkung 3:
Für nicht elektrische Technologien: Verwenden Sie Teile, die der EN ISO 13849-1 (rev) entsprechen, als Subsysteme.

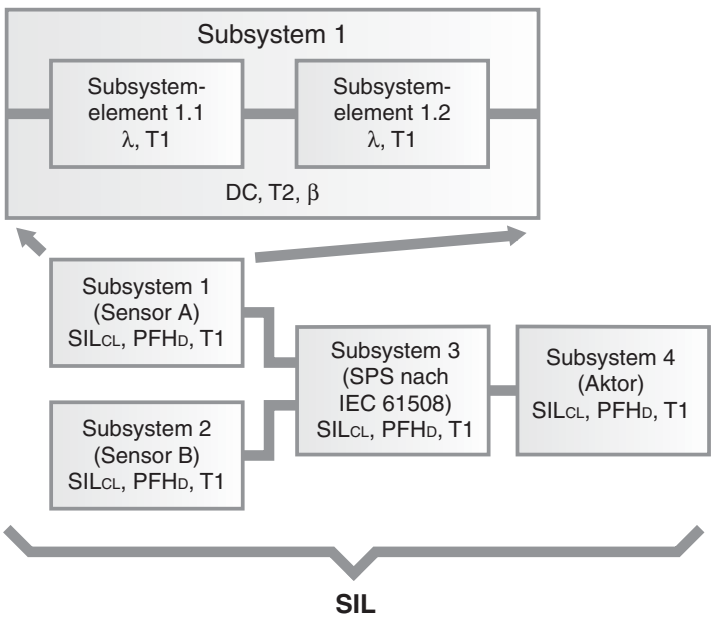
Tabelle 5.15 Anwendungsbereiche

Die Anwendung einer der beiden Normen reicht grundsätzlich für die Erfüllung der Schutzziele der Maschinenrichtlinie aus.

EN IEC 62061: Sicherheitsrelevante, elektrische Steuerungen für Maschinen

Die EN IEC 62061 stellt eine sektorspezifische Norm unterhalb der IEC 61508 dar. Sie beschreibt die Realisierung sicherheitsrelevanter elektrischer Steuerungssysteme von Maschinen und betrachtet den gesamten Lebenszyklus von der Konzeptphase bis zur Außerbetriebnahme. Basis bilden quantitative und qualitative Betrachtungen von Sicherheitsfunktionen.

Dabei wendet die Norm konsequent ein Top-Down-Verfahren in der Realisierung komplexer Steuerungssysteme, Functional Decomposition genannt, an. Hierbei wird ausgehend von den aus der Risikoanalyse hervorgehenden Sicherheitsfunktionen eine Aufteilung in Teilsicherheitsfunktionen und schließlich eine Zuordnung dieser Teilsicherheitsfunktionen auf reale Geräte, Subsysteme und Subsystemelemente genannt, vorgenommen. Es wird sowohl Hardware als auch Software behandelt. Die EN IEC 62061 beschreibt auch Anforderungen an die Realisierung von Applikationsprogrammen.


Subsystem 1
Subsystem-element 1.1 λ, T1
Subsystem-element 1.2 λ, T1
DC, T2, β
Subsystem 1 (Sensor A) SILCL, PFHD, T1
Subsystem 2 (Sensor B) SILCL, PFHD, T1
Subsystem 3 (SPS nach IEC 61508) SILCL, PFHD, T1
Subsystem 4 (Aktor) SILCL, PFHD, T1
SIL

Ein sicherheitsgerichtetes Steuerungssystem besteht aus verschiedenen Subsystemen. Die Subsysteme sind durch die Kenngrößen (SIL-Eignung und PFH) sicherheitstechnisch beschrieben.

Sicherheitstechnische Kenngrößen für Subsysteme:

- SIL_{CL}: SIL-Eignung (en: SIL claim limit)
- PFH_D: Wahrscheinlichkeit gefährlicher Ausfälle pro Stunde (en: probability of dangerous failure per hour)
- T_1: Lebensdauer (en: lifetime)

Diese Subsysteme wiederum können aus unterschiedlich verschalteten Subsystemelementen (Geräten) mit den Kenngrößen zur Ermittlung des entsprechenden PFH-Wertes des Subsystems bestehen.

Sicherheitstechnische Kenngrößen für Subsystemelemente (Geräte):

- λ: Ausfallrate (en: failure rate); für verschleißbehaftete Elemente: BlO-Wert
- T_1: Lebensdauer (en: lifetime)

Bei elektromechanischen Geräten wird die Ausfallrate λ, vom Hersteller bezogen auf eine Anzahl Schaltspiele, angegeben. Die zeitbezogene Ausfallrate und die Lebensdauer müssen an Hand der Schalthäufigkeit für die jeweilige Anwendung bestimmt werden.

Beim Entwurf/Konstruktion festzulegende Parameter für das Subsystem, das aus Subsystemelementen zusammengesetzt wird:

- T_2: Diagnose-Testintervall (en: diagnostic test interval)
- ß: Empfindlichkeit für Fehler gemeinsamer Ursache (en: susceptibility to common cause failure)
- DC: Diagnosedeckungsgrad (en: diagnostic coverage)

Der PFH-Wert der sicherheitsgerichteten Steuerung ermittelt sich aus der Addition der einzelnen PFH-Werte der Subsysteme.

Beim Aufbau einer sicherheitsgerichteten Steuerung hat der Anwender folgende Möglichkeiten:

- Verwendung von Geräten und Subsystemen, die die EN 954-1 bzw. IEC 61508 oder EN IEC 62061 bereits erfüllen. Dabei werden in der Norm Angaben gemacht, wie qualifizierte Geräte bei der Realisierung von Sicherheitsfunktionen integriert werden können.
- Entwicklung eigener Subsysteme
  - Programmierbar, elektronische Systeme bzw. komplexe Systeme: Anwendung der IEC 61508.
  - Einfache Geräte und Subsysteme: Anwendung der EN IEC 62061.

Angaben zu nichtelektrischen Systemen sucht der Anwender jedoch vergebens. Die Norm stellt ein umfassendes System für die Realisierung sicherheitsrelevanter elektrischer, elektronischer und programmierbarer elektronischer Steuerungssysteme dar.

Für nichtelektrische Systeme ist die EN 954-1 / EN ISO 13849-1 anzuwenden.

EN ISO 13849-1 soll die EN 954-1 ersetzen und ergänzen

Die EN ISO 13849-1 setzt auf den bekannten Kategorien der EN 954-1:1996 auf. Sie betrachtet nun ebenfalls komplette Sicherheitsfunktionen mit allen an ihrer Ausführung beteiligten Geräten.

Mit der EN ISO 13849-1 erfolgt über den qualitativen Ansatz der EN 954-1 hinaus auch eine quantitative Betrachtung der Sicherheitsfunktionen. Aufbauend auf den Kategorien werden hierfür Performance Level (PL) verwendet. Für Bauteile/Geräte sind folgende sicherheitstechnische Kenngrößen notwendig:

- **Kategorie** (strukturelle Anforderung)
- **PL:** Performance Level
- **MTTFd:** Mittlere Zeit bis zu einem gefährlichen Ausfall (en: mean time to dangerous failure)
- **DC:** Diagnose-Deckungsgrad (en: diagnostic coverage)
- **CCF:** Fehler gemeinsamer Ursache (en: common cause failure)

Die Norm beschreibt die Berechnung des Performance Levels (PL) für sicherheitsrelevante Teile von Steuerungen auf Basis vorgesehener Architekturen (designated architectures). Bei Abweichungen hiervon verweist die EN ISO 13849-1 auf die IEC 61508.

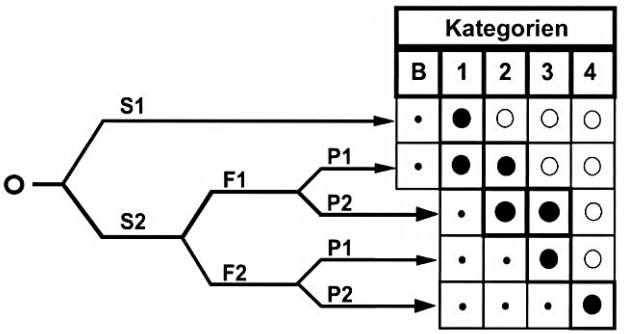
Bei Kombination mehrerer sicherheitsrelevanter Teile zu einem Gesamtsystem macht die Norm Angaben zur Ermittlung des resultierenden PL.

Für weitere Hinweise zur Validation verweist die EN ISO 13849-1 auf den Teil 2, der bereits Ende 2003 veröffentlicht wurde. Dieser macht Angaben zur Fehlerbetrachtung, Wartung, technischen Dokumentation und Hinweisen zum Gebrauch.

IEC 61508 und EN IEC 62061 sind auch als EN-Norm ratifiziert.
EN ISO 13849-1 (rev) liegt als Entwurf vor. Bis zu ihrer Verabschiedung, die für September 2005 angestrebt wird, gilt noch die EN 954-1:1996.
Es muss davon ausgegangen werden, dass die EN ISO 13849 ab 2006/7 gültig wird.
Damit ist abschätzbar, dass die EN 954-1 ab ca. 2009/10 zurückgenommen wird bzw. durch die EN ISO 13845 abgelöst wird.

Vergleich des alten und des neuen Risikografs

EN 954-1



S: Schwere der Verletzung
F: Häufigkeit und/oder Dauer der Gefährdung
P: Möglichkeit zur Vermeidung der Gefährdung

EN ISO 13849

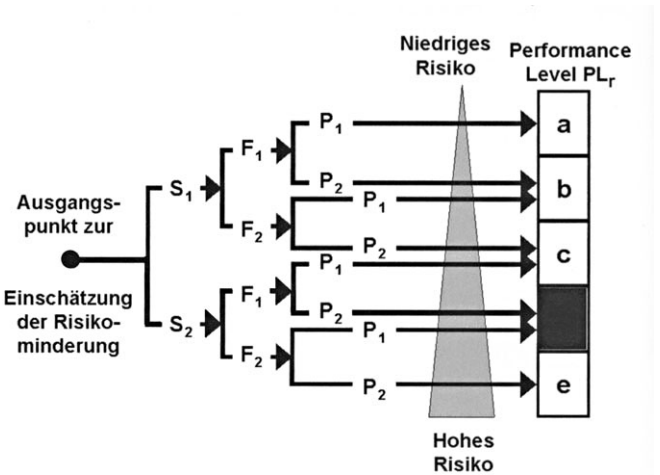


Bild 5.27 Risikograf EN 954-1/ EN ISO 13849

Gegenüberstellung der verschiedenen Level

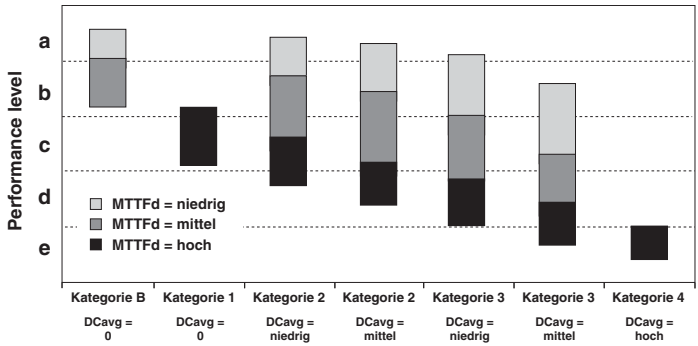


Bild 5.28 Vereinfachte Bestimmung des Performance-Levels PL

EN 954-1 SK[1)]	EN ISO 13849-1 PL[2)]	IEC 62061 SIL[3)]	IEC 61508 SIL[3)]
B	a	-	-
1	b	1	1
2	c		
3	d	2	2
4	e	3	3

1) Sicherheitskategorie
2) Performance Level
3) Safety Integrity Level

Tabelle 5.16 Gegenüberstellung der verschiedenen Klassensysteme

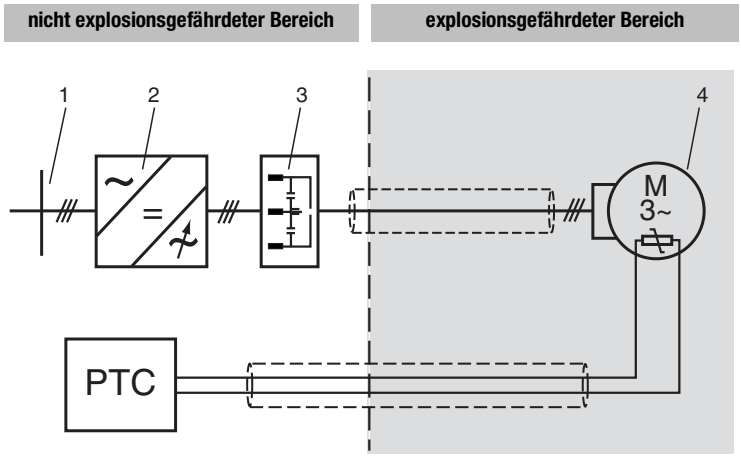
ISO	International Organization for Standardization Internationale Organisation für Standardisierung www.iso.org
IEC	International Electrotechnical Commission Internationale Elektrotechnische Kommission www.iec.ch
CEN	European Committee for Standardization (Comité Européen de Normalisation) Europäisches Komitee für Normung www.cenorm.be
CENELEC	European Committee for Electrotechnical Standardization Comité Européen de Normalisation en ELECtronique www.cenelec.org
DKE	Deutsche Kommission Elektrotechnik und Elektronik www.dke.de
DIN	Deutsches Institut für Normung www.din.de

5.7 Antriebsreglergespeiste elektrische Antriebe im explosionsgefährdeten Bereich

Zur Automatisierung von Produktionsabläufen in der chemischen und petrochemischen Industrie ist die Drehzahlregelung der elektrischen Antriebe notwendig. Die Realisierung über Antriebsreglerantriebe ist eine bewährte Technik, die sich auch im Bereich des Explosionsschutzes durchgesetzt hat.

Die Konstellation drehzahlgeregelter Asynchron-Drehstrommotoren in Ex-Bereichen setzt sich aus drei/vier Betriebsmitteln zusammen. Diese sind der Spannungszwischenkreis-Antriebsregler, der Asynchron-Drehstrommotor und die Motortemperatur-Überwachungseinheit bzw. je nach Kabellänge auch aus du/dt Motordrossel oder Motorfilter (Sinusfilter).

Der Antriebsregler (Motorfilter) und das Thermistorschutzgerät werden außerhalb des Ex-Bereichs errichtet und werden daher nicht in einer Zündschutzart ausgelegt. Der eigentliche Antrieb (der Motor) befindet sich im explosionsgefährdeten Bereich und ist daher „druckfest gekapselt“ auszuführen, siehe Bild 5.29.



1) Netz
2) Antriebsregler
3) Motorfilter
4) Ex-d-Motor

Bild 5.29 Schematischer Aufbau von antriebsreglergespeistem Antrieb im Ex-Bereich

5.7.1 Motoren der Zündschutzart „d“

Motoren der Zündschutzart „d“ (druckfeste Kapselung) dürfen ohne zusätzliche amtliche Prüfung und Bescheinigung an einem beliebigen Antriebsregler betrieben werden.

- Sofern der Motorhersteller die Eignung in einer Werksprüfung festgestellt hat
- und der Motor in einer pauschalen Konformitätsbescheinigung für die Temperaturklassen T1 ... T4 (neuerdings auch T6) mit thermischem Motorschutz (TNS) als Alleinschutz bescheinigt
- und durch den Motorhersteller entsprechend geprüft ist.

EN60079-14

In den neuen europäischen Errichtungsbestimmungen EN 60079-14 wird zu diesem Thema sinngemäß gleichlautend folgendes festgelegt:

Motoren der Zündschutzart „d“

Motoren, die mit veränderlicher Frequenz und Spannung gespeist werden, erfordern eingebaute Thermistoren, die in der Dokumentation des explosionsgeschützten Motors festgelegt sind. Die Wirkung des Thermistorschutzes muss in der Abschaltung des Motors bestehen. Die Motor-Antriebsregler-Kombination braucht nicht zusammen geprüft zu sein.

Zündschutzart „Druckfeste Kapselung d“

Grundgedanke der Zündschutzart „d“ ist, eine mögliche Zündung auf das Innere des Motorgehäuses zu beschränken und sie nicht auf die umgebende explosionsfähige Atmosphäre übergreifen zu lassen, also den sogenannten Zünddurchschlag zu vermeiden.

An der Oberfläche der Gehäuse darf die Temperatur den für die jeweilige Temperaturklasse zulässigen Grenzwert nicht übersteigen.

Die Temperatur der Wicklung ist nur durch die thermische Stabilität und die Alterung der verwendeten Isolierstoffe begrenzt, kann also den Werten für normale, nichtexplosionsgeschützte Motoren nach Tabelle 5.17 entsprechen.

Wärmeklasse (Isolierstoffklasse)	Grenzübertemperatur in K
B	80
F	105
H	125

Tabelle 5.17 Zulässige Grenzübertemperaturen für isolierte Wicklungen bei Dauerbetrieb nach DIN EN 0034-1 / VDE 0530 Teil 1 (siehe auch Tabelle 5.18)

Für die Außenseite der Gehäuse ergeben sich Grenzwerte, die je nach Temperaturklasse aus der Tabelle 5.18 ersichtlich sind.

		Grenztemperatur in °C					
Temperaturklasse		**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**	**T6**
Zündtemperatur (EN 60079-14, Tab. 1)	>	450	300	200	135	100	85
Oberflächentemperatur (EN 60079-14, Tab. 1)	≤	450	300	200	135	100	85
Wicklung der Klasse F dauernd EEx d = normal (IEC 60034-1)	≤	145	145	145	145	100	85
Wicklung der Klasse F dauernd EEx e = reduziert (EN 50019), Tab. 3)	≤	130	130	130	130	100	85
Wicklung der Klasse F am Ende von t_E (EN 50019, Tab. 3)	≤	210	210	210	130	95	80
Käfig am Ende von tE (PBT-Prüfregeln)	≤	290	290	195	130	95	80
		abhängig von der Temperatur des Gases					
		abhängig von der Wärme-/Isolierstoffklasse der Wicklung					

Tabelle 5.18 Grenztemperaturen elektrischer Maschinen der Zündschutzarten e und d

Zur Einhaltung der in der Tabelle 5.18 genannten Gehäusetemperaturen wird nach DIN VDE 0165 und EN 60079-14 ein Überlastungsschutz vorgeschrieben. Für die Auswahl des Überstromschutzschalters sind die Bestimmungen DIN VDE 0660 und EN 60947, also die gleichen Kriterien wie für normale, nicht explosionsgeschützte Motoren, maßgebend.

Je nach Leitungslänge werden du/dt-Motordrosseln oder Motorfilter, sogenannte Sinusfilter, vorgeschrieben. In der praktischen Anwendung sollte man Sinusfilter (Motorfilter) verwenden, weil nur sie reduzieren auch die Ableitströme.

5.7.2 Zündschutzmaßnahmen

Damit elektrische Betriebsmittel nicht zur Zündquelle werden, müssen Maßnahmen ergriffen werden, deren detaillierte Festlegungen in DIN-VDE-Bestimmungen und Normen festgelegt sind. Zur Zeit gibt es 7 genormte Zündschutzarten für elektrische Betriebsmittel, die sich in 3 Gruppen unterteilen lassen (Tabelle 5.19).

1. Gruppe „Druckfeste Kapselung“

Der Schutz beruht auf dem Prinzip, dass in das Innere der elektrischen Betriebsmittel zwar explosionsfähige Atmosphäre eindringen kann, die sich an vorhandenen heißen Teilen, betriebsmäßig erzeugten Lichtbögen oder Funken entzünden kann. Das Betriebsmittel aber so fest gebaut ist, dass es dem Explosionsdruck standhält und eine Durchzündung der heißen Verbrennungsgase durch Zündsperren nicht erfolgen kann.

Diese Zündschutzart wird als „Druckfeste Kapselung d“ bezeichnet. Technische Ausführungsformen sind die Gehäusekapselung und die Komponentenkapselung.

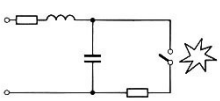
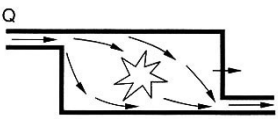
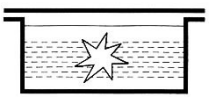
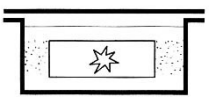
Gruppe	Zündschutzart	Schematische Darstellung	Anwendungen
1	Druckfeste Kapselung d		Schaltgeräte, Befehls- und Anzeigegeräte, Steuerungen, Motoren, Transformatoren, Leuchten und andere funkenerzeugende Teile
2	Erhöhte Sicherheit e		Klemmen- und Anschlusskästen, Steuerkästen zum Einbau von Ex-Bauteilen (die in einer anderen Zündschutzart geschützt sind), Käfigläufermotoren, Leuchten
	Eigensicherheit i		Mess- und Regeltechnik, Kommunikationstechnik
3	Überdruckkapselung p		für große Geräte und ganze Räume
	Ölkapselung o		Transformatoren (nur noch selten verwendet)
	Sandkapselung q		Transformatoren, Kondensatoren, Heizleiteranschlusskästen (relativ selten verwendet)
	Vergusskapselung m		Schaltgeräte für kleine Leistungen, Befehls- und Meldegeräte, Anzeigegeräte, Sensoren

Tabelle 5.19 Zündschutzarten nach EN 50014 ... 50039 (DIN VDE 0170/0171)

2. Gruppe „Erhöhte Sicherheit“

Der Schutz beruht auf dem Prinzip, dass die explosionsfähige Atmosphäre zwar auch in das Innere des elektrischen Betriebsmittels eindringen kann, dass aber durch Vermeidung heißer Teile, Funken oder Lichtbögen eine Zündung unterbleibt.

Diese Zündschutzart wird als „Erhöhte Sicherheit e“ bezeichnet. Sie wird für Betriebsmittel angewendet, die weder heiße Teile noch funkende Teile enthalten, sowohl im Betrieb als auch im Fehlerfall. Zu dieser Gruppe gehört auch ein Schutzprinzip, bei dem der Stromkreis keine höhere Energie zulässt als eine Energie, die stets kleiner ist als die Mindestzündenergie, damit weder Erwärmung noch Funken entstehen können, die eine Zündung hervorrufen könnten. Diese Zündschutzart wird als Eigensicherheit i bezeichnet.

3. Gruppe „Überdruckkapselung“

Es wird verhindert, dass eine explosionsfähige Atmosphäre an die eine Entzündung verursachenden Teile gelangen kann. Bei der Zündschutzart „Überdruckkapselung p“ wird dies dadurch erreicht, dass im Inneren des Gehäuses ein ständiger Überdruck vorhanden ist, der ein Eindringen von explosionsfähiger Atmosphäre verhindert.

Entweder durch einen statischen Druck oder in Form ständiger Durchspülung. Bei der Zündschutzart Ölkapselung o, ist der im Inneren eines elektrischen Betriebsmittels verbleibende Raum mit Öl gefüllt.

Bei der Zündschutzart Sandkapselung q ist der verbleibende Raum mit Sand oder mineralischem Granulat gefüllt und bei der Vergusskapselung m wird das Innere mit Vergussmasse ausgefüllt. Es gibt auch noch eine Zündschutzmaßnahme, die mit Sonderschutz s bezeichnet wird. Diese Zündschutzmaßnahme ist ebenso sicher, wie die vorgenannten Zündschutzarten.

5.8 Fehlerstromüberwachung in elektrischen Anlagen mit elektrischen Antriebssystemen

Schutzmaßnahmen für Starkstromanlagen bis 1000 V sind in DIN VDE 0100-410 von 1997 beschrieben. Entsprechend der Norm ist der Schutz gegen elektrischen Schlag durch die Anwendung geeigneter Maßnahmen sicherzustellen. Die Maßnahmen beziehen sich auf den normalen Betrieb und den Fehlerfall.

Der Schutz gegen elektrischen Schlag unter Fehlerbedingung kann durch automatische Abschaltung der Stromversorgung erfolgen.

Als Schutzeinrichtungen sind anerkannt:

- im TN-System — Überstrom-Schutzeinrichtungen und RCD/RCM
- im TT-System — Überstrom-Schutzeinrichtungen und RCD/RCM
- im IT-System — Isolationsüberwachungseinrichtung, Überstrom-Schutzeinrichtung und RCD

Nach DIN EN 62020 (VDE 0663) für Differenzstrom-Überwachungsgeräte (RCM) sind diese Geräte in Verbindung mit den vorstehend aufgeführten Schutzeinrichtungen zu verwenden.

Im Gegensatz zu Isolationsüberwachungsgeräten nutzen RCM den von der Ableitimpedanz abhängigen Differenzstrom. Dieser enthält kapazitive und Ohm'sche Anteile. Durch die Überwachung der Erhöhung dieses Differenzstroms kann man jedoch auch für das geerdete System von einer Quasi-Isolationsüberwachung sprechen, da Erhöhungen des Differenzstroms in den allermeisten Fällen durch Verschlechterungen des Isolationswiderstands hervorgerufen werden.

Begriffsdefinitionen:

FI-Schutzschalter ist gleichzusetzen mit dem in der Norm verwendeten Begriff „Differenzstrom-Schutzeinrichtung (RCD)".

Differenzstromüberwachungsgeräte (**R**esidual **C**urrent **M**onitor, RCM)
Ein RCM ist ein Gerät, das den Differenzstrom einer elektrischen Anlage überwacht und meldet, wenn der Differenzstrom den Ansprechwert des RCM's überschreitet.

Differenzstrom-Schutzeinrichtung (**R**esidual **C**urrent **P**rotective **D**evice, RCD)
Ein RCD ist ein Gerät, das den Differenzstrom einer elektrischen Anlage überwacht und Anlagenteile abschaltet, wenn der Differenzstrom den Ansprechwert des RCD's überschreitet.

Differenzstrom
Die Summe der Momentanwerte von Strömen, die an einer Stelle der elektrischen Anlage durch alle aktiven Leiter eines Stromkreises fließt.

Ableitstrom
Ein Strom, der in einem fehlerfreien Stromkreis zur Erde oder zu einem fremden leitfähigen Teil fließt.

Fehlerstrom
Der Strom, der durch einen Isolationsfehler zum Fließen kommt.

Nennfehlerstrom
Fehlerstrom, bei dem ein Differenzstrom-Überwachungsgerät unter spezifizierten Bedingungen anspricht.

Fehlerstrom-Schutzschalter Typ A
Fehlerstrom-Schutzschalter (RCD) die keine Gleichströme erfassen.

Fehlerstrom-Schutzschalter Typ B
Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCM) die Gleichströme und Mischströme erfassen.

Die üblichen Fehlerstrom-Schutzschalter (RCD) Typ A können keine Gleichströme erfassen. Aus diesem Grund ist der Einsatz sogenannter „allstromsensitiven Fehlerschutzschalter“ vorzusehen, die gemäß IEC 60755 bezüglich der Fehlerstromform als Typ B bezeichnet werden.

5.8.1 Grundsätzliches Messverfahren von FI-Schutzschaltern bzw. RCM/RCD (Typ A)

Die Funktionsweise aller Differenzstrom-Überwachungsgeräte basiert auf dem Differenzstromprinzip. Dabei werden alle Leiter des zu schützenden Abgangs (ausgenommen Schutzleiter) durch einen Summenstromwandler mit Sekundärwicklung geführt. Im fehlerfreien Stromversorgungs- und Verteilungssystem ist dann die vektorielle Summe aller Ströme gleich Null, so dass in der Sekundärwicklung der Wandler keine Spannung induziert wird. Fließt hingegen ein Differenzstrom über Erde ab, verursacht die Stromdifferenz im Summenstromwandler einen Strom, der von der Elektronik ausgewertet wird (RCM) oder einen Schaltvorgang auslöst (RCD).

Herkömmliche Differenzstrom-Überwachungsgeräte (RCM/RCD, Typ A) bzw. FI_Schutzschalter arbeiten nach dem Prinzip „Messwandler als Stromtransformator“. Der Differenzstrom I_{Δ} wird über eine Windungszahl N übersetzt. Am Messwiderstand $R_{Bürde}$ entsteht somit eine Messspannung mit folgender Größe:

$$U_m = \frac{R_{Bürde} \cdot J_A}{N}$$

Zur Erfassung von Gleichströmen oder Wechselströmen mit Gleichanteil ist dieses Verfahren ungeeignet, da der Messwandler ausschließlich Stromänderungen übertragen kann.

5.8.2 Allstromsensitive FI-Überwachung (RCM, Typ B) in geerdeten Systemen

In vielen Bereichen werden immer häufiger Verbraucher eingesetzt, die bei Isolationsfehlern DC-Fehlerströme ohne Nulldurchgang verursachen. Beispiele dafür sind elektrische Antriebsregler, unterbrechungsfreie Stromversorgungen, Röntgengeräte, Schweißstromanlagen sowie Geräte und Anlagen mit mehrpulsiger Drehstrombrückenschaltung.

DC-Fehlerströme können jedoch das Auslöseverhalten von FI-Schutzschaltern (RCD, Typ A) nachteilig beeinflussen, da sie eine Gleichstromvormagnetisierung des Magnetkerns im Differenzstromsensor verursachen. Deshalb müssen für elektrische Verbrauchsmittel, die im Fehlerfall solche glatten DC-Fehlerströme erzeugen, allstromsensitive Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCM, Typ B) eingesetzt werden.

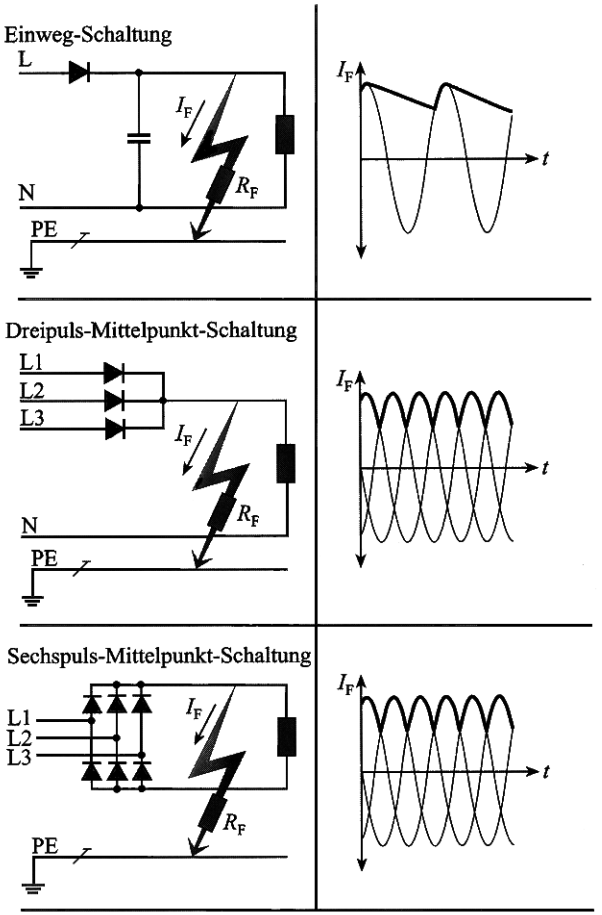


Bild 5.30 Fehlerströme ohne Nulldurchgang

Messverfahren von „Allstromsensitiven RCM, Typ B“

Allstromsensitive RCM (Typ B) arbeiten z. B. nach dem Prinzip der magnetischen Kompensation. Dadurch sind sie zur Erfassung von Gleich-, Wechsel- und Mischströmen geeignet. Auf dem Messwandler befinden sich zwei Wicklungen gleicher Windungszahl, wobei dieser Wandler als schwingungserzeugendes Element in einem Gegentaktoszillator integriert ist.

Durch das Oszillatorprinzip wird die Kennlinie des Kerns ständig mit der Schwingungsfrequenz bis in den Sättigungsbereich durchlaufen. Dadurch werden Gleichstrommagnetisierungen kompensiert. Der durch den Oszillator erzeugte Kompensationsstrom wird durch den AC- und den DC-Anteil des Differenzstroms proportional beeinflusst und wird elektronisch ausgewertet.

Basis für die Auswahl von Schutzmaßnahmen an elektronischen Betriebsmitteln, wie z. B. elektronische Antriebsregler, die im Fehlerfall Fehlerströme ohne Nulldurchgang verursachen, ist DIN VDE 0160/ EN 50178.

Dort heißt es: Elektronische Betriebsmittel müssen so projektiert und hergestellt sein, dass sie bei ordnungsgemäßem Betrieb und bestimmungsgemäßer Verwendung im fehlerfreien Betrieb ihre Funktion erfüllen und keine Gefahr für Personen verursachen.

In der Praxis bedeutet dies, dass ein ausreichender Isolationswiderstand vorhanden sein muss bzw. dass ein Absinken des Isolationswiderstands rechtzeitig erkannt werden muss.

Die allgemeinen Anforderungen an das speisende Stromversorgungs- und Verteilungssystem bzw. an RCD sind in DIN VDE 0160 Abschnitt 6.3 definiert:

- Vor dem Anschluss eines elektronischen Betriebsmittels an ein Netz mit Fehlerstrom-Schutzeinrichtung ist die Verträglichkeit zu prüfen.

Bei Unverträglichkeit ist der Schutz bei indirektem Berühren auf andere Weise herzustellen

FI-Verträglichkeit bedeutet, dass elektronische Betriebsmittel so beschaffen sein müssen, dass nach DIN VDE 0664:

- die Auslösung eines vorgeschalteten Fehlerstrom-Schutzschalters im Falle eines Gleichanteils im Fehlerstrom nicht verhindert wird,
- die Auslösung eines vorgeschalteten Fehlerstrom-Schutzschalters infolge von Ableitströmen, z. B. durch Entstörkondensatoren, nicht vorzeitig erfolgt,
- in den Betriebsunterlagen ein Warnhinweis enthalten sein muss, der den Anschluss an das Netz unter alleiniger Verwendung der Fehlerstrom-Schutzeinrichtungen verbietet.

5.8.3 Allstromsensitive Differenzstromüberwachung in Personen- und Lastaufzügen

Der nachfolgende Anwendungsbericht wurde uns von der Firma:

Dipl.-Ing. W. Bender GmbH & Co. KG
Londorfer Straße 65
35305 Grünberg
www.bender-de.com

zur Verfügung gestellt.

Dieser Schaltungsvorschlag wurde mit Sorgfalt erstellt. Der Anwender ist jedoch verpflichtet, die Funktion für den vorgesehenen Anwendungsfall eingehend zu prüfen. Änderungen vorbehalten.

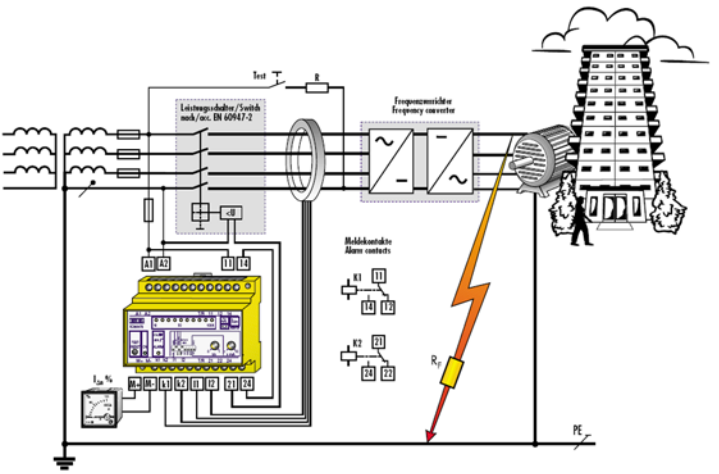


Bild 5.31 3-phasiges Versorgungsnetz

Durch den zwischen dem 3-phasigen Versorgungsnetz und der Antriebsmaschine geschalteten Antriebsregler besteht die Gefahr, dass die herkömmlichen Schutzmaßnahmen gegen zu hohe Berührungsspannung im Falle eines motorseitigen Körperschlusses nicht ausreichend sind. Zudem erschweren die strombegrenzende Funktion des Antriebsreglers (Sicherung löst bei Erd- oder Körperschluss nicht aus) sowie dessen netzseitige Filterung zur Einhaltung der EMV-Vorschriften (hohe C_E-Ableitströme führen zur Auslösung des RCDs) den Einsatz von Schutzeinrichtungen.

Für die Lösung dieser Aufgabe werden die allstromsensitiven Differenzstromüberwachungsgeräte RCMA (Typ B) in Verbindung mit einem Leistungsschalter nach EN 60947-2 eingesetzt. Damit bietet diese Einrichtung einen umfassenden Schutz vor allen bekannten Fehler- bzw. Differenzstromarten.

Wird der eingestellte Ansprechwert überschritten, lösen die Meldekontakte den Unterspannungsauslöser des Leistungsschalters aus. Der variable Ansprechwert von 30 mA - 3 A und die variable Ansprechzeit von 0-10 s ermöglichen eine optimale Anpassung an die Anlage. Zusätzliche Unterstützung erfährt der Betreiber durch die LED-Laufpunktanzeige, die den aktuellen Differenzstrom anzeigt. Damit lassen sich Veränderungen des Differenzstromes leicht erkennen.

- **Hohe elektrische Betriebssicherheit**
  durch allstromsensitive Differenzstromüberwachung mit RCMA
- **Erkennt und meldet alle Fehler- bzw. Differenzstromarten,**
  auch glatte Fehlergleichströme
- **Optimale Anpassung an die Anlage**
  durch einstellbaren Ansprechwert
- **Unterstützt vorbeugende Instandhaltung**
  durch Anzeige des Differenzstromes über LED-Laufpunktanzeige
- **Zuverlässige Schutzeinrichtung in Verbindung mit Schaltglied nach EN 60947-2**

6 Antriebsbestimmung

6.1 Antriebsbestimmung über Leistungsauslegung 6-2
6.1.1 Fahrantrieb 6-3
6.1.2 Hubantrieb 6-5

6.1 Antriebsbestimmung über Leistungsauslegung

Das Verfahren der Leistungsauslegung wird hauptsächlich in drei Anwendungsbereichen eingesetzt. Diese sind:

1. Metallbearbeitungsmaschinen (Fräsen, Bohren, Schleifen usw.)
2. Verfahrenstechnik (Pumpen/Lüfter, Extruder usw.)
3. Allgemeiner Maschinenbau (Verpackungs- und Sondermaschinen, Handhabungsautomaten und Fördertechnik usw.)

Zu den Anwendungsbereichen 1 und 2 sind im Anhang die Gleichungen und ihre Anwendung genau beschrieben.

Nachfolgend wird auf den **Anwendungsbereich 3** und damit auf die Auslegung von Fahr- und Hubantrieben eingegangen.

Verpackungsmaschinen	Handhabungsautomaten	Fördertechnik	Allgemeiner Maschinenbau
• Abzugsantrieb (Hüllstoffabzug, Folienvorschub) • Dosierantrieb (Volumendosierung, Schneckendosierung) • Fahr-/Hubachse (Einpacker, Palettierer) • Bandantrieb (Becherband, Produkt-Zuführband) • Etiketteneinrichtung (X-Y-Antrieb) • usw.	• Fahrachse X-, Z-Achse • Hubachse Y-Achse • Drehtischantrieb • Greiferantrieb • usw.	• Fahrwagenantrieb mit 1, 2 und 4 Motoren • Kranhubwerk, Laufkatze und Fahrwerk • Förderband • Türantrieb • Regalförderfahrzeug • Parkettförderband • Rollen- und Kettenbahnantrieb • usw.	• Blech- und Metallverarbeitungsmaschinen • Ablängautomaten • alle Arten von Sondermaschinen • usw.

Tabelle 6.1 Typische Anwendungsbeispiele für die Leistungsauslegung aus dem Anwendungsbereich 3

6.1.1 Fahrantrieb

Beispiel: Z-Achse eines Handhabungsautomaten

m = 51,5 kg	η = 0,88
a = 3 m/s²	ta = 0,5
v = 1,5 m/s	μ = 0,01

1. Leistungsbedarf zur Bewegung der Anwendung bestimmen

$$P_a = \frac{m \cdot a \cdot v}{\eta} = \frac{51,5kg \cdot 3m/s^2 \cdot 1,5m/s}{0,88} = 264W$$

$$P_F = \frac{m \cdot g \cdot \mu \cdot v}{\eta} = \frac{51,5kg \cdot 9,8m/s^s \cdot 0,01 \cdot 1,5m/s}{0,88} = 9W$$

$$P_{Fahr} = P_a + P_F = 273W$$

2. Motor auswählen

Der ausgewählte Motor muss eine Leistung größer P_{Fahr} haben. Motor aus Liste auswählen.

gewählter Motor: Typ 71L/4, 370W, $J_M = 0,00073\ kgm^2$

Der Motor soll mit max. 2000 min^{-1} (70 Hz Kennlinie) betrieben werden.

$$P_{aR} = \frac{J_M \cdot n_M^2}{91,2 \cdot t_a} = \frac{0,00073kgm^2 \cdot 2000^2 min^{-1}}{91,2 \cdot 0,5} = 65W$$

3. Gesamtleistung berechnen

$P_{gesamt} = P_a + P_F + P_{aR} = 264W + 9W + 65W = 338W$

Weiteres zum Thema „Auswahl von Antriebsreglern“ finden Sie in Kapitel 3.3 bis 3.6.

Verwendete Abkürzungen

P_a	Leistung zur Beschleunigung der Last	[W]
P_{aR}	Leistung zur Beschleunigung des Rotors	[W]
P_F	Leistung zum Überwinden des Fahrwiderstandes bzw. der Reibung	[W]
P_H	Leistung zum Heben der Last	[W]
m	Gesamte Masse	[kg]
a	Beschleunigung	[m/s²]
v	Geschwindigkeit	[ms]
μ	Fahrwiderstand bzw. Reibzahl	
η	Wirkungsgrad der Antriebslösung	
g	Erdbeschleunigung	[9,8 m/s²]
J_M	Trägheitsmoment des gewählten Motors	[kgm²]
n_M	max. Drehzahl des gewählten Motors	[min^{-1}]
t_a	Beschleunigungszeit	[s]

Die Angaben von typischen Motorträgheitsmomenten finden sie im Anhang A.4.

6.1.2 Hubantrieb

Beispiel: Z-Achse eines Handhabungsautomaten

m = 2,5 kg	η = 0,88
a = 10 m/s²	ta = 0,15
v = 1,5 m/s	μ = 0,01

1. Leistungsbedarf zur Bewegung der Anwendung bestimmen

$$P_a = \frac{m \cdot a \cdot v}{\eta} = \frac{2,5kg \cdot 10m/s^2 \cdot 1,5m/s}{0,88} = 43W$$

$$P_F = \frac{m \cdot g \cdot \mu \cdot v}{\eta} = \frac{2,5kg \cdot 9,8m/s^s \cdot 0,01 \cdot 1,5m/s}{0,88} = 1W$$

$$P_H = \frac{m \cdot g \cdot v}{\eta} = \frac{2,5kg \cdot 9,8m/s^s \cdot 1,5m/s}{0,88} = 42W$$

$$P_{Hub} = P_a + P_F + P_H = 86W$$

2. Motor auswählen

Der ausgewählte Motor muss eine Leistung größer P_{Hub} haben. Motor aus Liste auswählen.

gewählter Motor: Typ 71S/4, 250W, I_M = 0,00056 kgm²

Der Motor soll mit max. 2000 min^{-1} (70 Hz Kennlinie) betrieben werden.

$$P_{aR} = \frac{J_M \cdot n_M^2}{91,2 \cdot t_a} = \frac{0,00056kgm^2 \cdot 2000^2 min^{-1}}{91,2 \cdot 0,15} = 164W$$

3. Gesamtleistung berechnen

$P_{gesamt} = P_a + P_F + P_H + P_{aR} = 43W + 1W + 42W + 164W = 250W$

Weiteres zum Thema „Auswahl von Antriebsreglern“ finden Sie in Kapitel 3.3 bis 3.6.

Anhang A Praxislexikon

A.1 Mathematische Zeichen A-3
A.1.1 SI-Einheiten A-3
A.1.2 Wichtige Einheiten A-5
A.2 Antriebstechnische Gleichungen A-6
A.2.1 Physikalische Grundgleichungen A-6
A.2.2 Leistung A-7
A.2.3 Drehmomente A-12
A.2.4 Arbeit A-13
A.2.5 Reibung A-15
A.2.6 Effektives Motormoment/Leistung A-16
A.2.7 Wahl der max. Beschleunigung A-19
A.2.8 Massenträgheitsmomente A-22
A.2.9 Optimale Getriebeübersetzung A-28
A.2.10 v/t-Diagramm A-29
A.2.11 Wirkungsgrade, Reibwerte und Dichte A-32
A.2.12 Bestimmung von Querkräften A-36
A.2.13 Spartransformator A-37
A.2.14 Netzdrossel A-38
A.3 Antriebsregler A-39
A.3.1 u/f-Kennliniensteuerung/-regelung A-39
A.3.2 Grundprinzip der sensorlosen Drehzahl (SFC) A-44
A.3.3 Momentbildung von Synchron- und Asynchronmotoren A-45
A.3.4 Regelungstechnikgrundlagen A-48
A.3.5 Grundprinzip der Moment-, Drehzahl- und Lageregelung A-58
A.3.6 DC-Verbundbetrieb A-63
A.4 Motoren A-67

A.4.1 Wärmeklassen von Elektromotoren A-67
A.4.2 Farbkennzeichnung eines Schwellwert PTC's nach DIN 44081 ..... A-69
A.4.3 Linear PTC KTY-130-gel A-72
A.4.4 Motorschutzmöglichkeiten A-73
A.4.5 Typische Motordaten von DS-Normmotoren A-74
A.4.6 Typische Motordaten von Asynchron-Servomotoren A-77
A.4.7 Übersicht der Motordaten von Synchron-Servomotoren (LSH) A-79
A.4.8 Typische Motordaten von EUSAS - Systemmotoren A-80
A.4.9 Typische Motordaten von schlanken Drehstrommotoren aus Alustrangpress-profil A-85
A.4.10 Neue Anschlusskennzeichnungen für drehende elektrische Maschinen A-87

A.5 Schutzart A-91

A.5.1 Schutzart/IP-Code nach IEC/EN A-91
A.5.2 Schutzart nach EEMAC und Nema A-98
A.5.3 Kabelverschraubungen mit PG/Metrische Gewinde A-100
A.5.4 Außendurchmesser von Leitungen und Kabel .. A-101
A.5.5 Strombelastbarkeit von PVC-isolierten Kupferleitungen A-103
A.5.6 Farbkodierung für Drucktaster/Bedienteile A-105
A.5.7 Farben von Leuchtmeldern A-106
A.5.8 Genormte Querschnitte von runden Leitern (ISO/AWG) A-107

A.1 Mathematische Zeichen

Anhang

Gleichheit und Ungleichheit			
~	proportional	<	kleiner als
≈	etwa, ungefähr	>	größer als
=	gleich	≥	größer oder gleich
≙	entspricht	≤	kleiner oder gleich
≡	identisch gleich	«	sehr klein gegen
≢	nicht identisch gleich	»	sehr groß gegen
≠	nicht gleich, ungleich		

Tabelle A.1 Mathematische Zeichen

Geometrische Zeichen			
∥	parallel	≅	kongruent
∦	nicht parallel	∢	Winkel
↑↑	gleichsinnig parallel	$\overline{AB}$	Strecke AB
↑↓	gegensinnig parallel	$\overset{\frown}{AB}$	Bogen AB
⊥	rechtwinklig zu, senkr. auf	~	ähnlich
Δ	Dreieck		

Tabelle A.2 Geometrische Zeichen

A.1.1 SI-Einheiten

Größe	Formelzeichen	Einheiten		Formel (A Querschnittsfläche)
		Name	Abkürzung	
Spannung	U	Volt	V	U = I · R
Stromstärke	I	Ampère	A	I = U/R
Widerstand	R	Ohm	Ω	R = U/I
Leitwert, elektr.	G	Siemens	S, 1/Ω	G = 1/R
Spezif. el. Widerstand	ρ	Ohm/m	Ωm; Vm/A	ρ = 1/σ
Beachte: Für Vektorwerte werden viele Formelzeichen mit deutschen Buchstaben angegeben.				

Tabelle A.3 SI-Einheiten

Größe	Formelzeichen	Einheiten		Formel (A Querschnittsfläche)
		Name	Abkürzung	
El. Leitfähigkeit	σ, χ	Siemens/m	S/m; A/Vm	$\sigma = 1/\rho$
Frequenz (c Lichtgeschwindigkeit)	f	Hertz	Hz, (kHz)	$f = c/\lambda$
Wellenlänge	λ	Meter	m, (cm)	$\lambda = c/f$
Elektrizitätsladung	Q	Coulomb	C, As	$Q = I \cdot t$
Kapazität	C	Farad	F	$C = Q/U$
Induktivität	L	Henry	H; Vs/A	
Leistung	P	Watt, Joule/s	W; VA, J/s	$P = U \cdot I$
Arbeit	W, A	Joule	J; Ws	$W = P \cdot t$
Kraft, (Gewicht)	F, (G)	Joule/m	J/m; Ws/m	$F = W/1$
El. Feldstärke	E	Volt/m	V/m; N/C	$E = U/1$
Dielektrizitätskonst.	ε	Farad/m	F/m; C/Vm	$\varepsilon = c \cdot 1/A$
El. Feldkonstante, Versch.	ε_0	Farad/m	F/m; C/Vm	$\varepsilon = \varepsilon_0 . \varepsilon_r$
Dielektrizitätszahl	ε_r	-	-	$\varepsilon_r = \varepsilon/\varepsilon_0$
El. Verschiebungsfluss	ψ	Coulomb	C, As	
El. Verschiebungsdichte	D	Coulomb/m^2	C/m^2	$D = Q/A$
El. Stromdichte	S, (i)	Ampère/m^2	A/m^2	$S = I/A$
El. Durchflutung	θ	Ampère	A; J/Wb	$\theta = H \cdot I$
Magn. Kraftfluss	Φ	Weber, Maxwell	Wb; Vs; M	$\Phi = B \cdot A$
Magn. Spannung	V	Ampère	A; J/Wb	$V = H \cdot s$
Magn. Feldstärke	H	Amp./m; Oerstedt	A/m; N/Wb, (Ö)	$H = B/\mu = I \cdot w/l$
Magn. Induktion (Flussdichte)	B	Tesla; Weber/m^2 (Gauß)	T; Wb/m^2 (G)	$B = \mu \cdot H$
Magn. Feldkonstante	μ_0	Henry/m	H/m; Wb/Am	$\mu_0 = 4\pi/10^7$
Permeabilität, absolute	μ	Henry/m	H/m; Wb/Am	$\mu = B/H$
Permeabilitätszahl	μ_t	-	-	$\mu_t = \mu/\mu_0$
Magn. Polarisation	J	Tesla; Weber/m²	T; Wb/m²	$J = B - \mu_0$
Beachte: Für Vektorwerte werden viele Formelzeichen mit deutschen Buchstaben angegeben.				

Tabelle A.3 SI-Einheiten

Größe	Formelzeichen	Einheiten		Formel (A Querschnittsfläche)
		Name	Abkürzung	
Magnetisierungsstärke	M	Webermeter	Wbm; Vsm	$M = J/\mu_0 \cdot H$
Magn. Leitwert	Λ	Henry	H	$\Lambda = 1/R_m$
Magn. Widerstand	R	10^8/Henry	10^8/H	$R_m = 1/A \cdot \mu$
El. Suszeptibilität	χ	-	-	$= 4\pi\,\chi'$
Magn. Suszeptibilität	χ	-	-	$=M/H = \mu_r\text{-}1$
Beachte: Für Vektorwerte werden viele Formelzeichen mit deutschen Buchstaben angegeben.				

Tabelle A.3 SI-Einheiten

A.1.2 Wichtige Einheiten

Wichtige Einheiten
Kraft
$1N = 1\frac{kg \cdot m}{s^2}$
Kraft
$1\,kp = 9{,}80665\,N$
Leistung
$1PS = 75\frac{kp \cdot m}{s} = 0,7355kW = 735,5\frac{kg \cdot m^2}{s^3} = 735,5\frac{Nm}{s}$
Arbeit, Energie
$1Ws = 1Nm = 1J = 1\frac{kg \cdot m^2}{s^2}$
Trägheitsmoment
$1kg \cdot m^2 = 1W \cdot s^3 = 1Nm \cdot s^2$
Erdbeschleunigung
$g = 9,80665\frac{m}{s^2}$

Tabelle A.4 Wichtige Einheiten

A.2 Antriebstechnische Gleichungen

A.2.1 Physikalische Grundgleichungen

Translation	Rotation
Weg	Winkel
$s = v \cdot t$	$\varphi = \omega \cdot t$
Geschwindigkeit	
$v = \frac{s}{t}$	$v = \omega \cdot r = \frac{\pi \cdot n}{60} \cdot d$
Winkelgeschwindigkeit	
	$\omega = \dot{\varphi} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60} = \frac{\varphi}{t}$
Beschleunigung	
$a = \frac{v}{t}$	$\dot{\omega} = \ddot{\varphi} = \frac{\omega}{t}$
Kraft	
$F = m \cdot a$	$F = m \cdot r \cdot \omega^2$
Drehmoment	
$M = F \cdot r$	$M = J \cdot \dot{\omega}$
Leistung	
$P = F \cdot v$	$P = M \cdot \omega$
Energie	
$W = F \cdot s$	$W = M \cdot \varphi$
Energie	
$W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$	$W = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2$

Tabelle A.5 Physikalische Grundgleichungen

A.2.2 Leistung

Rotationsleistung	Rotationsbeschleunigung
$P = \frac{M \cdot n}{9,55}$	$P = \frac{J \cdot n^2}{91,2 \cdot t_{BE}}$
Translation/Reibleistung	**Translation/Reibleistung mit Steigung**
$P = \frac{F \cdot v}{\eta} = \frac{m \cdot g \cdot \mu \cdot v}{\eta}$	$P = \frac{m \cdot g \cdot v}{\eta} \cdot (\mu \cdot \cos\alpha + \sin\alpha)$
Translation mit Beschleunigung	**Hubbewegung**
$P = \frac{m \cdot a \cdot v}{\eta}$	$P = \frac{m \cdot g \cdot v}{\eta}$

Tabelle A.6 Allgemeine Antriebsleistung

a	Beschleunigung	m/s²
F	Kraft	N
m	Masse	kg
M	Drehmoment	Nm
n	Drehzahl	1/min
P	Leistung	W
v	Geschwindigkeit	m/s
η	Wirkungsgrad	
α	Steigungswinkel	grd.
μ	Reibungszahl	

Arbeitsleistung für Metallbearbeitungsmaschinen

Grundgleichung

$$P_s = \frac{F_H \cdot v_s}{60000}$$

Drehen

$$P_s = \frac{F_H \cdot n_P \cdot 2 \cdot \pi \cdot r}{60000}$$

Fräsen

$$P_s = \frac{z_E \cdot F_m}{60000} \cdot v_s = \frac{z_E \cdot F_m}{60000} \cdot \frac{d \cdot \pi \cdot n_F}{1000}$$

Scheren und Schneiden

$$P_s = \frac{K_s \cdot l_s \cdot s \cdot v_s}{60000}$$

Bohren

$$P_s = \frac{z_E \cdot (d_1 - d_2) \cdot s_Z \cdot K_s}{60000} \cdot v_s$$

Schnittgeschwindigkeit beim Bohren

$$v_s = \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot \frac{n_B \cdot \pi}{1000}$$

Pressen

$$P_P = \frac{F_{St} \cdot v_{St}}{60000}$$

Tabelle A.7 Arbeitsleistung für Metallbearbeitungsmaschinen

b	Spanbreite	mm
d	Fräserdurchmesser	mm
d_1	Bohrdurchmesser	mm
d_2	Vorbohrdurchmesser	mm
f	Vorschub pro Umdrehung	mm
F_H	Hauptschnittkraft	N
F_m	Mittlere Schnittkraft beim Fräsen	N
F_{St}	Stößelkraft beim Pressen	N
K_S	spezielle Schnittkraft (allgemein)	N/mm²
k_C	spezifische Schnittkraft für verschiedene Spanungsdicken	N/mm²
k_{C11}	spezifische Schnittkraft für Spanquerschnitt 1 mm x 1 mm	N/mm²
l_S	Länge der Schnittlinie	mm
n_B	Bohrerdrehzahl	1/min
n_F	Fräserdrehzahl	1/min
n_P	Planscheibendrehzahl	1/min

P_S	Schnittleistung	kW
P_P	Antriebsleistung einer Presse	kW
r	Drehradius	m
s	Blechdicke	mm
s_Z	Vorschub je Schneide	mm
v_S	Schnittgeschwindigkeit	m/min
v_{St}	Stößelgeschwindigkeit	m/min
z_E	Anzahl der Schneiden im Eingriff	
κ	Einstellwinkel	grd.

Spezielle Schnittkräfte verschiedener Metalle

Werkstoff	Zugfestigkeit in N/mm² bzw. Härte	k_{C11} in N/mm²	k_C in N/mm² bei h in mm $h = f \cdot \sin\kappa$				
			0, 063	0,1	0,16	0,25	0,4
(St 34), S235 (St 37), S275 (St 44)	500	1780	2820	2600	2400	2240	2060
E295 (St 50), C 35	520	1990	4200	3610	3190	2830	2500
E335 (St 60)	620	2110	3310	3080	2830	2620	2440
E360 (St 70)	720	2260	5120	4500	3920	3410	2990
C 45, Ck 45	670	2220	3240	3040	2840	2660	2500
C60, Ck60	770	2130	3430	3150	2920	2700	2490
16 Mn Cr 5	770	2100	4350	3830	3400	3020	2660
18 Cr Ni 6	630	2260	5140	4510	3920	3410	3000
42 Cr Mo 4	730	2500	5000	4500	4000	3550	3150
34 Cr Mo 4	600	2240	4000	3610	3200	3000	2750
50 Cr V 4	600	2220	4620	4100	3610	3290	2820
15 Cr Mo 5	590	2290	3660	3390	3130	2890	2680
55 Ni Cr Mo 6-G	940	1740	3470	3070	2720	2390	2170
55 Ni Cr Mo 6-V	1220	1920	3470	3310	2950	2860	2380
100 Cr 6-G	620	1730	3680	3320	2900	2560	2240
Mn-, Cr Ni-Stähle	850...1000	2350	4200	3800	3450	3150	2850
Cr, Mo u. a. leg. Stähle	1000...1400	2600	4450	4050	3700	3350	3100
Nichtrostende Stähle	600...700	2550	4200	3850	3530	3250	3000
Mn-Hartstähle		3300	6100	5500	4980	4500	4080
X 12 Cr Ni 18 8	HB 160	1600	3810	3480	2880	2500	2140
X 6 Cr Ni Mo 18 10	HB 163	1500	3930	3520	2960	2510	2110
GG 25	HB 200...250	1160	2360	2110	1870	1660	1470
GS 45	300...500	1600	2560	2360	2180	2000	1860
GTW 40, GTS 35	HB 220	1180	2240	2000	1800	1600	1460

Tabelle A.8 Spezielle Schnittkräfte verschiedener Metalle

Werkstoff	Zugfestigkeit in N/mm² bzw. Härte	k_{C11} in N/mm²	k_C in N/mm² bei h in mm $h = f \cdot \sin\kappa$				
			0, 063	0,1	0,16	0,25	0,4
Messing	HB 80...120	780	1300	1200	1100	1000	920
Gussbronze		1780	2870	2600	2400	2240	2060
Rotguss		640	1250	1120	1000	900	800
Al-Guss	300...420	640	1250	1120	1000	900	800

Tabelle A.8 Spezielle Schnittkräfte verschiedener Metalle

k_{C11} Spezielle Grundschnittkraft für Spanquerschnitt 1 mm x 1 mm
k_C Spezifische Schnittkraft für verschiedene Spanungsdicken h

Antriebsleistungen in der Verfahrenstechnik

Antriebsleistungen in der Verfahrenstechnik

Lüfter

$$P = \frac{Q_F \cdot p}{\eta}$$

Pumpe

$$P = \frac{Q_F \cdot p}{\eta}$$

Extruder

$$P = V \cdot \Upsilon$$

Tabelle A.9 Antriebsleistungen in der Verfahrenstechnik

p	Gesamtdruck	N/m²
P	Antriebsleistung	kW
Q_F	Förderstrom	m³/s
V	geförderter Durchsatz	kg/h
γ	spezifische Antriebsenergie	kWh/kg
η	Lüfterwirkungsgrad/Pumpenwirkungsgrad	

Für Lüfter gilt:

$\eta \approx 0{,}3$ bei 1 kW
$\eta \approx 0{,}5$ bei 10 kW
$\eta \approx 0{,}65$ bei 100 kW

Die folgende Tabelle zeigt die spezifische Antriebsenergie für verschiedene Thermoplaste:

Thermoplast	Spezifische Antriebsenergie in kWh/kg
ABS	0,2 bis 0,3
CAB	0,1 bis 0,2
PA 6 und PA 66	0,2 bis 0,4
PE - LD	0,2 bis 0,25
PE - HD	0,25 bis 0,3
PP	0,25 bis 0,3
PVC	0,15 bis 0,2

Tabelle A.10 Spezifische Antriebsenergie für verschiedene Thermoplaste

A.2.3 Drehmomente

Drehmomente

Drehmoment zur Erzeugung von Translationsbewegung

$$M = \frac{F \cdot r}{1000} = 9,55 \cdot \frac{P}{n}$$

Beschleunigungsmoment

$$M_{BE} = J \cdot \dot{\omega} = J \cdot \frac{\dot{n}}{9,55} = J \cdot \frac{\Delta n}{9,55 \cdot t_{BE}}$$

Beschleunigungszeit

$$t_{BE} = J \cdot \frac{\Delta n}{9,55 \cdot (M - M_L)} = J \cdot \frac{(\Delta n)^2}{91,2 \cdot (P - P_L)}$$

Tabelle A.11 Drehmomente

F	Umfangskraft	N
J	Gesamtmassenträgheitsmoment	kg · m²
M	Motordrehmoment	Nm
M_L	Lastdrehmoment	Nm
n	Drehzahl	1/min
P	Motorleistung	W
P_L	Leistung der Last	W
r	Radius der Antriebsrolle	mm
t_{BE}	Beschleunigungszeit	s
Δn	Differenzdrehzahl	1/min
ω	Winkelgeschwindigkeit	1/s

A.2.4 Arbeit

Arbeit der Reibkraft

$$W = F_R \cdot s = m \cdot g \cdot \mu_1 \cdot \cos\alpha \cdot s$$

Arbeit der Beschleunigungskraft

$$W = m \cdot \left(\frac{v_2^2}{2} - \frac{v_1^2}{2} \right)$$

Arbeit der Schwerkraft

$$W = m \cdot g \cdot (h_2 - h_1)$$

Arbeit der Federkraft

$$W = c \cdot \left(\frac{x_2^2}{2} - \frac{x_1^2}{2} \right)$$

Arbeit des Reibmoments

$$W = M \cdot \mu_r \cdot \varphi$$

Arbeit des Beschleunigungsmoments

$$W = J \cdot \left(\frac{\dot{\varphi}_2^2}{2} - \frac{\dot{\varphi}_1^2}{2} \right) = J \cdot \left(\frac{\omega_2^2}{2} - \frac{\omega_1^2}{2} \right)$$

Tabelle A.12 Arbeit

Aus diesen allgemeinen Gleichungen folgt mit $\omega_2 = \omega$ und $\omega_1 = 0$, mit $v_2 = v$ und v1 = 0, mit $h_2 = h$ und $h_1 = 0$ sowie mit $x_2 = x$ und $x_1 = 0$:

Kinetische Energie der Translationsbewegung

$$W = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Kinetische Energie der Rotationsbewegung

$$W = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \omega^2$$

Potenzielle Energie der Lage

$$W = m \cdot g \cdot h$$

Potenzielle Energie der Felder

$$W = \frac{1}{2} \cdot c \cdot x^2$$

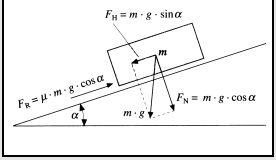
Tabelle A.13 Energie

c	Federsteifigkeit	Nm
F_R	Reibkraft	N
g	Erdbeschleunigung	m/s²
h	Hubhöhe	m
h_1	Hubhöhe zum Zeitpunkt $t = t_1$	m
h_2	Hubhöhe zum Zeitpunkt $t = t_2$	m
J	Massenträgheitsmoment	kg · m²
m	Masse	kg
M	Drehmoment	Nm
M_R	Reibmoment	Nm
s	wirksamer Weg der Reibkraft	m
v	Geschwindigkeit	m/s
v_1	Geschwindigkeit zum Zeitpunkt $t = t_1$	m/s
v_2	Geschwindigkeit zum Zeitpunkt $t = t_2$	m/s
W	Arbeit	Nm
x	Federweg	m
x_1	Federweg zum Zeitpunkt $t = t_1$	m
x_2	Federweg zum Zeitpunkt $t = t_2$	m
α	Neigungswinkel der schiefen Ebene	grd
μ_1	Reibbeiwert für Längsbewegung	
μ_r	Reibbeiwert für Rotationsbewegung	
φ_1	Drehwinkel zum Zeitpunkt $t = t_1$	rad
φ_2	Drehwinkel zum Zeitpunkt $t = t_2$	rad
ω	Winkelgeschwindigkeit	1/s
ω_1	Winkelgeschwindigkeit zum Zeitpunkt $t = t_1$	1/s
ω_2	Winkelgeschwindigkeit zum Zeitpunkt $t = t_2$	1/s

A.2.5 Reibung

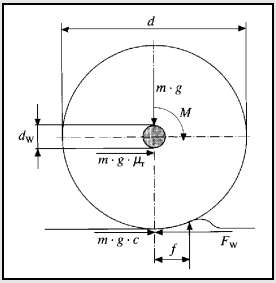
Reibkraft der Coulomb'schen Reibung (trockene Reibung)

$$F_R = F_N \cdot \mu_l = m \cdot g \cdot \mu_l \cdot \cos\alpha$$



Fahrwiderstand bei Rollreibung

$$F_W = m \cdot g \cdot \left[\frac{2}{d} \cdot \left(\frac{d_W}{2} \cdot \mu_r + f\right) + c\right]$$



Reibmoment im Gewinde

$$M_R = F \cdot \frac{d_m}{2} \cdot \tan\rho$$

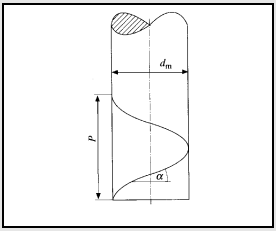


Tabelle A.14 Reibung

c	Spurkranzreibung	
d	Raddurchmesser	m
d_m	mittlerer Gewindedurchmesser	m
d_w	Achs-/Wellendurchmesser	m
F	Längskraft in der Schraube/ Gewindespindel	N
F_N	Normalkraft	N
F_R	Reibkraft bei Coulomb'scher Reibung	N
F_W	Fahrwiderstand bei Rollreibung	N
f	Hebelarm der Rollreibung	m
g	Erdbeschleunigung	m/s²
m	Masse	kg
M_R	Reibmoment	Nm
α	Neigungswinkel der schiefen Ebene	grd.
μ_l	Reibungszahl bei Längsbewegung	
μ_r	Reibungszahl bei Rotationsbewegung	
ρ	Reibungswinkel in Gewindespindeln	grd.

A.2.6 Effektives Motormoment/ Leistung

$$M_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \Sigma_{i=1}^{n} M_i^2 \cdot t_i}$$

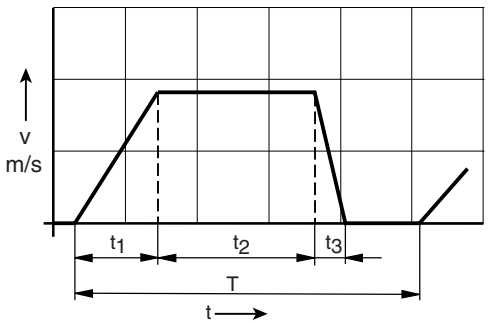
$$M_{eff} = \sqrt{\frac{M_1^2 \cdot t_1 + M_2^2 \cdot t_2 \cdot M_3^2 \cdot t_3}{T}}$$

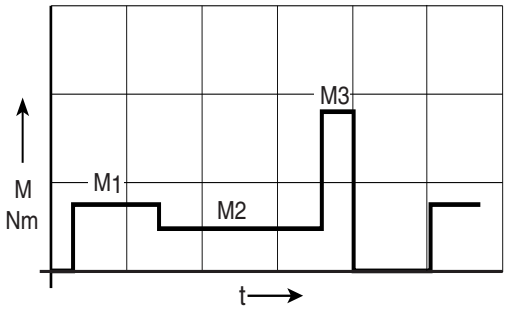
$$P_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \Sigma_{i=1}^{n} P_i^2 \cdot t_i}$$

$$P_{eff} = \sqrt{\frac{P_1^2 \cdot t_1 + P_2^2 \cdot t_2 + P_3^2 \cdot t_3}{T}}$$

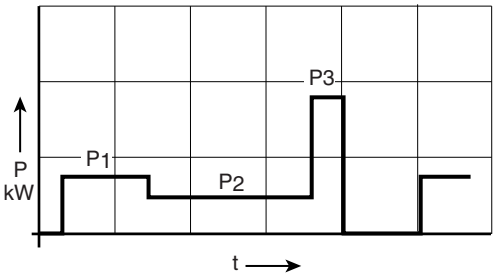
Tabelle A.15 Effektives Motormoment/Leistung

Aus den folgenden Diagrammen für ein Arbeitsbeispiel ist die Bedeutung der verwendeten Formelzeichen zu entnehmen.





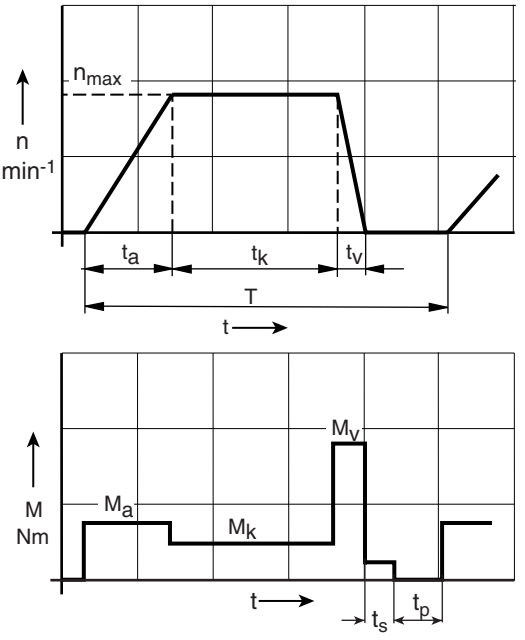
Auslegung: Der Motor wird mit $M_N \geq M_{eff}$ bestimmt.



Auslegung: Der Motor wird mit $P_N \geq P_{eff}$ bestimmt.

Effektivwertmethode für eigenbelüftete DS-Normmotoren

Zur Beschreibung der Effektivwertmethode für eigenbelüftete DS-Normmotoren wird von dem nachfolgenden Belastungsspiel ausgegangen.



Praxistipp:
Ist n_{max} < Motornenndrehzahl, dann muss das Belastungsspiel vom Motorhersteller geprüft werden.

Effektivmoment

$$M_{eff} = \sqrt{\frac{M_a^2 \cdot t_a + M_k^2 \cdot t_k + M_v^2 \cdot t_v + M_s^2 \cdot t_s}{K_1 \cdot (t_a + t_v) + t_k + K_2 \cdot t_s + t_p}}$$

Typische Reduktionsfaktoren für eigenbelüftete Motoren

K_1 = ca. 0,7 Reduktionsfaktor für Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge von DS-Normmotoren ≤ 2,2 kW
ca. 0,6 Reduktionsfaktor für Beschleunigungs- und Verzögerungsvorgänge von DS-Normmotoren > 2,2 kW

K_2 = ca. 0,3 Reduktionsfaktor für Stillstandsmoment
(nur bei Regelungsart FOR)

Auslegung: Der eigenbelüftete Motor wird mit $M_N \geq M_{eff}$ bestimmt.
Die Regel ist nur gültig, wenn $n_{max} \geq$ Motornenndrehzahl ist.

A.2.7 Wahl der max. Beschleunigung

Rutschen eines Fördergutes

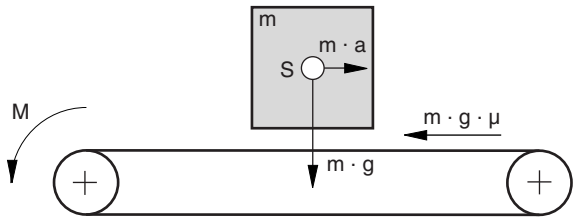


Bild A.1 Förderband mit unbefestigtem Gegenstand beim Beschleunigen

Maximale Beschleunigung: $a = g \cdot \mu$

a Bandbeschleunigung in m/s²
g Erdbeschleunigung in m/s²
μ Reibungszahl

Kippgrenze eines Fördergutes

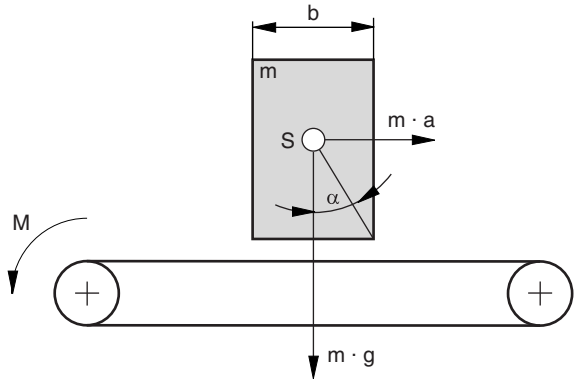


Bild A.2 Förderband mit einem hohen Körper mit kleiner Aufstandfläche

Maximale Beschleunigung: $a \leq \frac{b}{h} \cdot g$

a Bandbeschleunigung in m/s²
b Breite des Körpers in m
g Erdbeschleunigung in m/s²
h Höhe des Körpers in m

Überschwappen einer Flüssigkeit

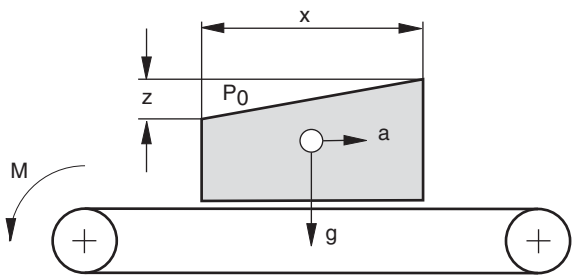


Bild A.3 Förderband in der Beschleunigungsphase mit einem mit Flüssigkeit gefüllten Behälter

Höhenunterschied beim Beschleunigen: $$z = \frac{a}{g} \cdot x$$

Der Wert z gibt den Höhenunterschied des Flüssigkeitsstands in einem Behälter der Länge x an, der mit a beschleunigt wird. Dabei ist immer an der Stelle des niedrigsten Flüssigkeitsstands z = 0.

a Bandbeschleunigung in m/s²
g Erdbeschleunigung in m/s²
x Koordinate in horizontaler Richtung in m
z Koordinate in vertikaler Richtung in m

Pendeln einer am Seil hängenden Last

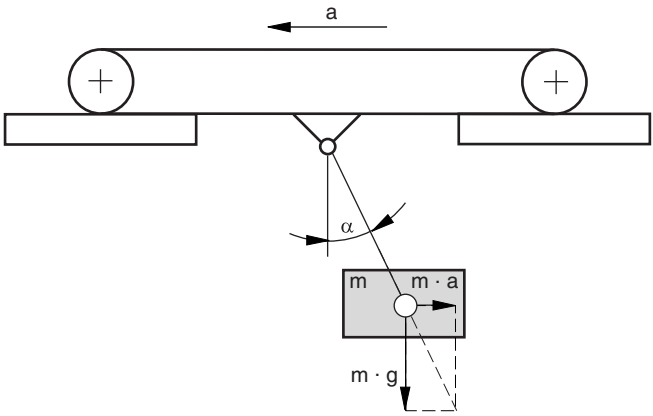


Bild A.4 Schematische Darstellung eines Krans mit anhängender Last

Maximale Beschleunigung: $a = g \cdot \tan\alpha$

a Bandbeschleunigung in m/s²
g Erdbeschleunigung in m/s²
α Ausschlagwinkel des Seiles in grd.

Bei den meisten Anwendungen sollte der Winkel α einen Wert von 3° nicht überschreiten. Mit diesem Wert ergibt sich für die Beschleunigung:

$$a = 9{,}81 \frac{m}{s^2} \cdot \tan 3° = 0{,}514 \frac{m}{s^2}$$

a Beschleunigung in m/s²
g Erdbeshleunigung in m/s²
m Masse in kg
α Ausschlagwinkel es Seils in grd.

A.2.8 Massenträgheitsmomente

Massenträgheitsmomente von Körpern

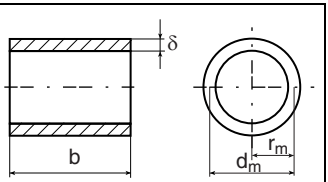
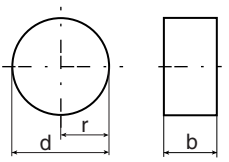
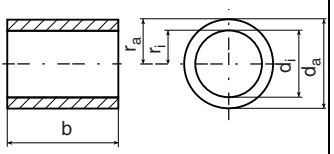
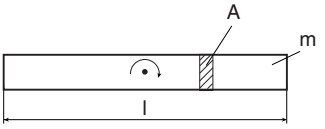
Dünnwandiger Hohlzylinder $J = m \cdot \frac{d_m}{4} = \frac{d_m^3}{4} \cdot \pi \cdot b \cdot \rho \cdot \delta$	
Zylinder mit Vollkreisquerschnitt $J = \frac{m}{2} \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \frac{\pi \cdot b \cdot \rho}{2} \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^4$	
Dickwandiger Hohlzylinder $J = \frac{m}{2}\left[\left(\frac{d_a}{2}\right)^2 + \left(\frac{d_i}{2}\right)^2\right]$	
Dünner, langer Stab mit Drehpunkt im Schwerpunkt $J = \frac{m}{12} \cdot l^2 = \frac{A \cdot \rho}{12} \cdot l^3$	

Tabelle A.16 Massenträgheitsmomente von Körpern

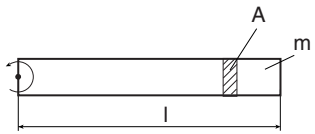
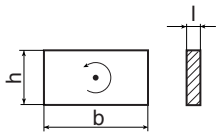
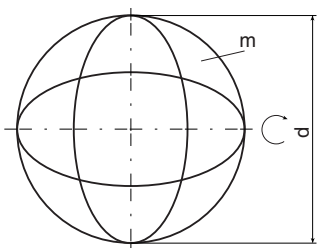
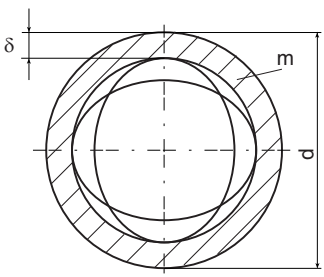
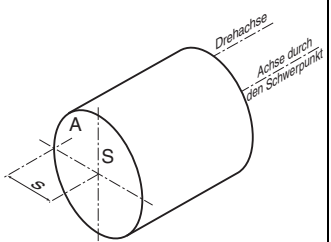
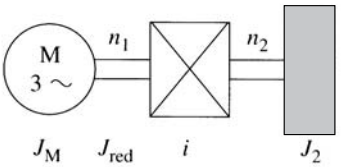
Dünner, langer Stab mit Drehpunkt im Stabende $J = \frac{m}{3} \cdot l^2 = \frac{A \cdot \rho}{3} \cdot l^3$	
Rechteckscheibe mit Drehpunkt im Schwerpunkt $J = \frac{m}{12} \cdot (h^2 + b^2)$	
Massive Kugel mit der Drehachse durch den Schwerpunkt $J = \frac{2 \cdot m}{5} \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \frac{\pi \cdot \rho \cdot d^5}{60}$	
Dünnwandige Kugelschale mit der Drehachse durch den Schwerpunkt $J = \frac{2 \cdot m}{3} \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \frac{\pi \cdot \rho \cdot \delta \cdot d^4}{6}$	
Steiner'scher Satz $J_A = J_S + m \cdot s^2$	

Tabelle A.16 Massenträgheitsmomente von Körpern

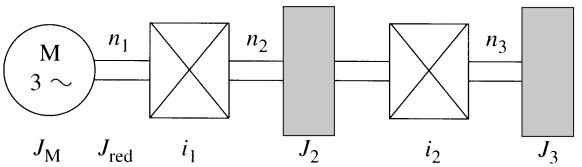
Reduktion über ein Getriebe



$$J_{red} = \frac{J_2}{(i)^2} = \frac{J_2}{(n_1 / n_2)^2}$$

$$J_{tot} = J_M + J_{red}$$

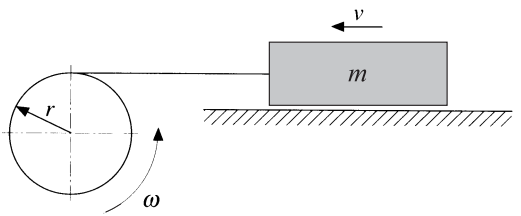
Reduktion über zwei Getriebe



$$J_{red} = \frac{J_2 + \frac{J_3}{(i_2)^2}}{(i_1)^2} = \frac{J_2 + \frac{J_1}{(n_2 / n_3)^2}}{(n_1 / n_2)^2}$$

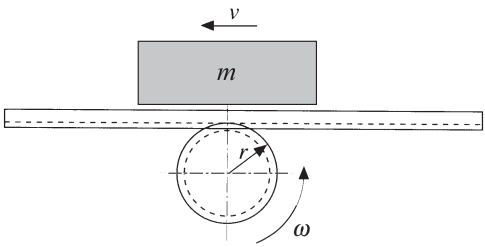
$$J_{ges} = J_M + J_{red}$$

Bewegung über Transportrolle



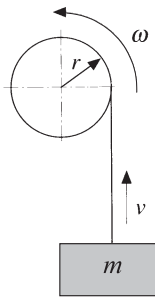
$$J = m \cdot r^2 = m \cdot \left(\frac{v}{\omega}\right)^2 = m \cdot \left(\frac{60 \cdot v}{2 \cdot \pi \cdot n}\right)^2$$

Bewegung über Zahnstange



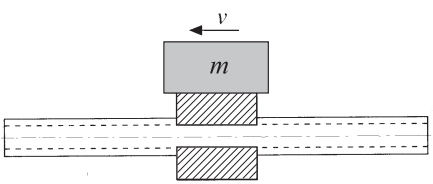
$$J = m \cdot r^2 = m \cdot \left(\frac{v}{\omega}\right)^2 = m \cdot \left(\frac{60 \cdot v}{2 \cdot \pi \cdot n}\right)^2$$

Bewegung über Seilrolle



$$J = m \cdot r^2 = m \cdot \left(\frac{v}{\omega}\right)^2 = m \cdot \left(\frac{60 \cdot v}{2 \cdot \pi \cdot n}\right)^2$$

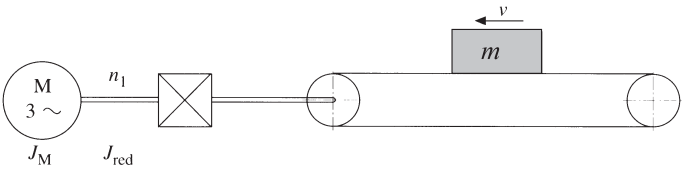
Bewegung über Spindel



$$J = m \cdot \left(\frac{P}{2 \cdot \pi}\right)^2$$

P Ganghöhe im Gewinde

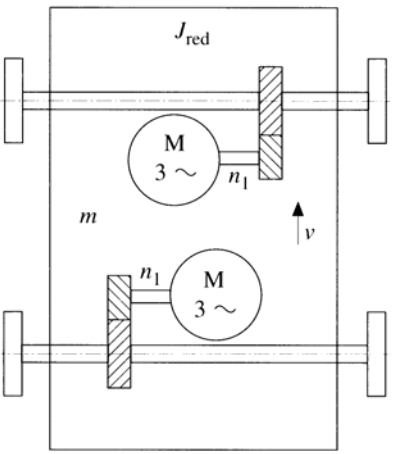
Umrechnung von Translation in Rotation



$$J_{red} = 91,2 \cdot m \cdot \left(\frac{v}{n_1}\right)^2$$

$$J_{ges} = J_M + J_{red}$$

Umrechnung von Translation in Rotation bei mehreren Motoren

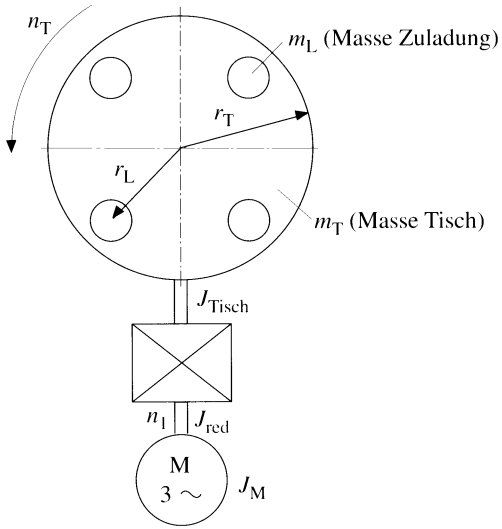


$$J_{red} = \frac{1}{k_A} \cdot 91,2 \cdot m \cdot \left(\frac{v}{n_1}\right)^2$$

k_A Anzahl der Antriebe

$$J_{ges} = J_M \cdot k_A + J_{red}$$

Drehtisch mit exzentrischen Lasten



$$J_{Tisch} = \frac{1}{2} \cdot m_T \cdot r_T + m_L \cdot r_L$$

$$J_{red} = J_{Tisch} \cdot \left(\frac{n_T}{n_1} \right)^2$$

$$J_{ges} = J_M + J_{red}$$

A.2.9 Optimale Getriebeübersetzung

Optimale Getriebeübersetzung für kürzeste Taktzeiten bei konstantem Beschleunigungsmoment.

Schwungmassenantrieb ohne Reibung: $M_{Last} = 0$; $\eta = 1$

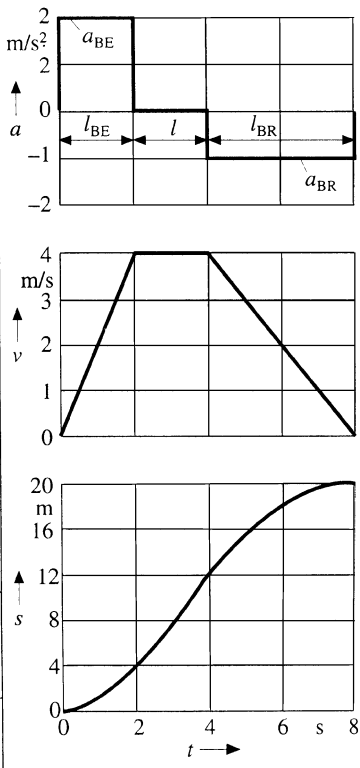
$$i_{opt} = \sqrt{\frac{J_{Last}}{J_{Motor}}} \quad \text{bzw.} \quad J_{Motor} = \frac{J_{Last}}{i^2_{opt}}$$

Anlauf gegen Last und Reibung: $M_{Last} > 0$; $\eta < 1$

$$i_{opt} = \frac{M_{Last}}{M_{Motor}} + \sqrt{\left(\frac{M_{Last}}{M_{Motor}}\right)^2 + \frac{J_{Last}}{J_{Motor}}}$$

A.2.10 v/t-Diagramm

Beschleunigungszeit	$t_{BE} = \frac{v}{a_{BE}}$
Beschleunigungsweg	$s_{BE} = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t_{BE} = \frac{1}{2} \cdot a_{BE} \cdot t_{BE}^2$
Bremszeit	$t_{BR} = \frac{v}{a_{BR}}$
Bremsweg	$s_{BR} = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t_{BR} = \frac{1}{2} \cdot a_{BR} \cdot t_{BR}^2$
Weg mit v = konst.	$s = v \cdot t$
Zeit für v = konst.	$t = \frac{s}{v}$
Gesamtweg	$s_{ges} = s_{BE} + s_{BR} + s$
Gesamtzeit	$t_{ges} = t_{BE} + t_{BR} + t$



v/t-Diagramm für minimales Moment

Beschleunigungszeit

$$t_{BE} = \frac{v}{a_{BE}}$$

Beschleunigungsweg

$$s_{BE} = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t_{BE} = \frac{1}{2} \cdot a_{BE} \cdot t_{BE}^2$$

Bremszeit

$$t_{BR} = \frac{v}{a_{BR}}$$

Bremsweg

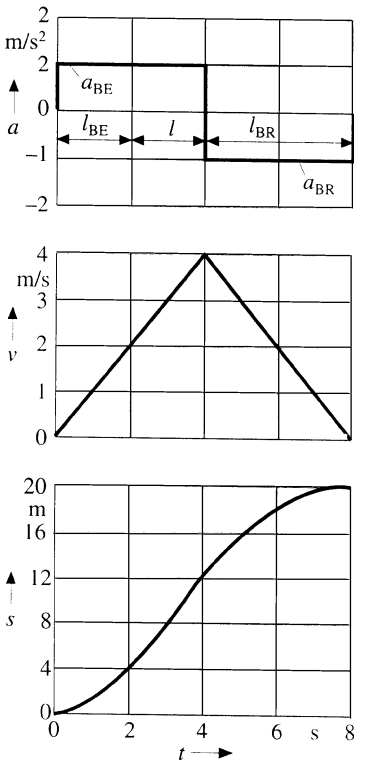
$$s_{BR} = \frac{1}{2} \cdot v \cdot t_{BR} = \frac{1}{2} \cdot a_{BR} \cdot t_{BR}^2$$

Gesamtweg

$$s_{ges} = s_{BE} + s_{BR}$$

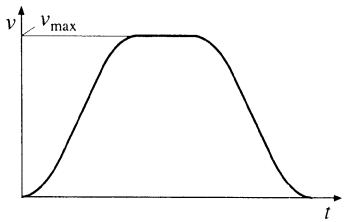
Gesamtzeit

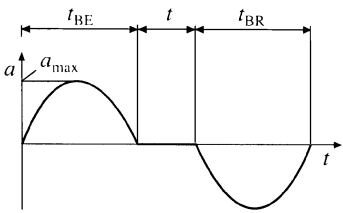
$$t_{ges} = t_{BE} + t_{BR}$$



v/t-Diagramm mit sin²-förmigem Verlauf

Periodendauer	$T = 2 \cdot \pi \cdot \frac{v_{max}}{a_{max}}$
Beschleunigungszeit	$t_{BE} = \frac{T}{4}$
Beschleunigungsweg	$s_{BE} = v_{max} \cdot \frac{T}{8}$
Bremszeit	$t_{BR} = \frac{T}{4}$
Bremsweg	$s_{BR} = v_{max} \cdot \frac{T}{8}$
Beschleunigung	$a_{max} = \frac{2 \cdot \pi \cdot v_{max}}{T} = \frac{1,57 \cdot v_{max}}{t_{BE}}$





A.2.11 Wirkungsgrade, Reibwerte und Dichte

Wirkungsgrade von Übertragungselementen

Übertragungs-element	Eigenschaft	Wirkungsgrad
Drahtseil	je vollständige Umschlingung der Seilrolle (gleit- oder wälzgelagert)	η = 0,91 - 0,95
Keilriemen	je vollständige Umschlingung der Keilriemen-scheibe (normale Riemenspannung)	η = 0,88 - 0,93
Kunststoff-bänder	je vollständige Umschlingung; Rollen wälzge-lagert (normale Bandspannung)	η = 0,81 - 0,85
Gummibänder	je vollständige Umschlingung; Rollen wälzge-lagert (normale Bandspannung)	η = 0,81 - 0,85
Ketten	je vollständige Umschlingung; Ketten wälzge-lagert (abhängig von Kettengröße)	η = 0,90 - 0,96
Spindeln	Trapezgewindespindel Kugelumlaufspindel	η = 0,30 - 0,70 η = 0,70 - 0,95

Tabelle A.17 Wirkungsgrade von Übertragungselementen

Reibwerte für Lagerreibung

Lagerart	Reibwert
Wälzlager	μ = 0,001 bis 0,005
Gleitlager	μ = 0,08 - 0,1

Tabelle A.18 Reibwerte für Lagerreibung

Reibwerte für Wälzlagerreibung

Wälzlager	Reibwert
Axial-Rillenkugellager	0,0013
Radial-Pendelkugellager	0,0010
Radial-Pendelrollenlager	0,0018
Radial-Rillenkugellager	0,0015
Radial-Kegelrollenlager	0,0018
Radial-Zylinderrollenlager	0,0011
Radial-Nadellager	0,0045

Tabelle A.19 Reibwerte für Wälzlagerreibung

Reibwerte für Spindeln

Spindelart	Reibwert
Trapezgewindespindel	μ = 0,05 - 0,08 (geschmiert) μ = 0,1 - 0,18 (trocken)
Kugelumlaufspindel	μ = 0,005 - 0,05

Tabelle A.20 Reibwerte für Spindeln

Beiwerte für Spurkranz- und Seitenreibung

Radart	Beiwerte für Spurkranz- und Seitenreibung
wälzgelagerte Räder	c = 0,003
gleitgelagerte Räder	c = 0,005
seitliche Führungsrollen	c = 0,002

Tabelle A.21 Beiwerte für Spurkranz- und Seitenreibung

Reibwerte verschiedener Werkstoffpaarungen

Reibpaarung	Reibungsart	Reibungszahl
Stahl auf Stahl	Haftreibung (trocken) Gleitreibung (trocken) Haftreibung (gefettet) Gleitreibung (gefettet)	μ_0 = 0,12-0,60 μ = 0,08-0,50 μ_0 = 0,12-0,35 μ = 0,04-0,25
Holz auf Stahl	Haftreibung (trocken) Gleitreibung (trocken)	μ_0 = 0,45-0,75 μ = 0,30-0,60
Holz auf Holz	Haftreibung (trocken) Gleitreibung (trocken)	μ_0 = 0,40-0,75 μ = 0,30-0,50
Kunststoffriemen auf Stahl	Haftreibung (trocken) Gleitreibung (trocken)	μ_0 = 0,25-0,45 μ = 0,25
Stahl auf Kunststoff	Haftreibung (trocken) Gleitreibung (trocken)	μ_0 = 0,20-0,45 μ = 0,18-0,35

Tabelle A.22 Reibwerte verschiedener Werkstoffpaarungen

Hebelarm der Rollreibung für verschiedene Werkstoffpaarungen

Werkstoffpaarung	Hebelarm der Rollreibung
Stahl auf Stahl	f = 0,5 mm
Holz auf Stahl (Rollenbahn)	f = 1,2 mm
Kunststoff auf Stahl	f = 2,0 mm
Hartgummi auf Stahl	f =7 ,0 mm
Kunststoff auf Beton	f =5 ,0 mm
Hartgummi auf Beton	f = 10 mm - 20 mm
mittelhartes Gummi auf Beton	f = 15 mm - 35 mm

Tabelle A.23 Hebelarm der Rollreibung für verschiedene Werkstoffpaarungen

Dichte ρ verschiedener Werkstoffe

Aluminium	2700	kg/m³
Grauguss	7600	kg/m³
Kupfer	8960	kg/m³
Messing	8400-8900	kg/m³
Stahl	7860	kg/m³
Zink	7130	kg/m³

Tabelle A.24 Dichte verschiedener Werkstoffe

Zinn	7290	kg/m³
Epoxidharz	1200	kg/m³
Gummi	920-990	kg/m³
Phenolharz, Typ 31	1400	kg/m³
Polyethylen	900-950	kg/m³
PVC	1300-1400	kg/m³

Tabelle A.24 Dichte verschiedener Werkstoffe

A.2.12 Bestimmung von Querkräften

Zur Bestimmung der richtigen Motor- bzw. Getriebegröße sind die zu erwartenden Querkräfte zu berechnen.

Übertragungselemente	Bemerkungen	Zuschlagfaktor f_z
Zahnräder	≥ 17 Zähne < 17 Zähne	1 1,15
Kettenräder	≥ 20 Zähne < 20 Zähne < 13 Zähne	1 1,25 1,4
Schmalkeilriemenscheibe	abhängig von der Vorspannung	1,5-2
Flachriemen mit Spannrolle	abhängig von der Vorspannung	2-2,5
Flachriemen ohne Spannrolle	abhängig von der Vorspannung	2,3-3

Tabelle A.25 Querkräfte

$F_Q = (M/r) \cdot f_z$

M Drehmoment
r Radius
f_z Zuschlagfaktor für Radialkraftermittlung

A.2.13 Spartransformator

Spartransformatoren besitzen gemeinsame Eingangs- und Ausgangswicklungen. Es ist daher keine galvanische Trennung zwischen den Wicklungen vorhanden. In Abhängigkeit der Spannungsübersetzung ergibt sich eine zum Teil erhebliche „Verkleinerung der Kernleistung“ (Bauleistung) gegenüber einer Trenntrafo-Ausführung.

$$S_b = S_a \cdot \frac{U_o - U_u}{U_o} = [kVA]$$

S_b = Bauleistung in kVA

S_a = Abnahmeleistung in kVA

U_u = niedrigste Spannung (Ausgangsspannung)

U_o = höchste Spannung (Eingangsspannung)

Die Bauleistung ist die Leistung, die der Magnetkern als Transformator mit gesonderter (getrennter) Wicklung übertragen muss.

A.2.14 Netzdrossel

Kurzschlussspannung

$$U_K = \frac{\Delta_u \cdot 100 \cdot \sqrt{3}}{U_N} \text{ in \%}$$

A_u Spannungsabfall je Drosselstrang [V]
U_N Nennspannung [V]
U_K Kurzschlussspannung in [%]

Induktivität je Drosselstrang

$$L = \frac{\Delta_u}{I_{LN} \cdot \omega} = \frac{\Delta_u}{I_N \cdot 2 \cdot \pi \cdot f} \text{ [mH]}$$

I_{LN} Nennstrom je Strang [A]
f Netzfrequenz 50/60 Hz

Induktiver Widerstand

$$XL = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = [\ \Omega \text{ pro Phase}]$$

A.3 Antriebsregler

A.3.1 u/f-Kennlinien-steuerung/-regelung

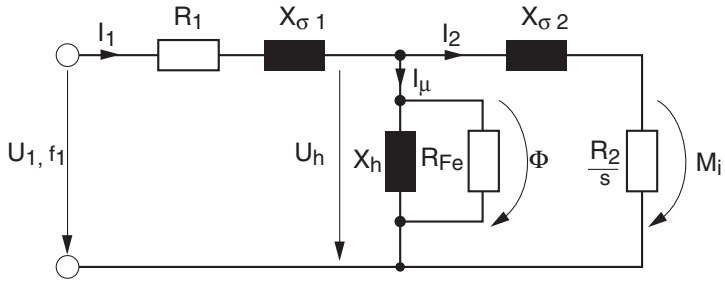


Bild A.5 Stationäres Ersatzschaltbild der Asynchronmaschine

Synchrondrehzahl
$n_s = \frac{60 \cdot f_1}{p}$
Inneres Moment des Motors
$M_i \sim \Phi \cdot I_2$
Magnetischer Fluss
$\Phi \sim I_\mu \sim \frac{U_h}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot L_h}$
Grundstellbereich (Regel 1)
$\Rightarrow \frac{U_1}{f_1} = \text{konst.} \Rightarrow \Phi \approx \text{konst.} \Rightarrow M_i \approx \text{konst.}$
Feldschwächung (Regel 2)
$\Rightarrow \left(\begin{smallmatrix} U_1 = \text{konstant} \\ f_1 = \text{veränderlich} \end{smallmatrix}\right) \Rightarrow \Phi \approx \frac{1}{f} \text{ konst.} \Rightarrow M_i \approx \frac{1}{f} \text{ konst.}$

Tabelle A.26 Grundgleichungen und Regeln

Spannungsanhebung zur Kompensation des Ohm'schen Spannungsabfalls

- Setzt man Nennstrom (für konstantes Nennmoment) im ganzen Frequenzbereich bis zum Nennpunkt (50Hz) voraus, so bleibt der Absolutwert des Ohm'schen Spannungsabfalls an R_1 (Statorwiderstand) gleich groß.
- Der relative Spannungsabfall an R_1, gemessen an U_1,steigt mit kleiner werdender Frequenz an.
  - Zur Kompensation des Spannungsabfalls am Statorwiderstand R_1 erhöht man im unteren Frequenzbereich die Speisespannung U_1 (Boost).

Zahlenbeispiel für einen 0,37 kW Motor:

0,37 kW, 220 V Δ, 2,05 A, Strangwiderstand = $P_{Ph} = 24\ \Omega$

- Ohm'scher Spannungsabfall

$$\Delta U = R_1 \cdot I_1 = \frac{24 \cdot 2{,}05}{\sqrt{3}} = 28\ V$$

- Wird die Spannung linear mit der Frequenz verstellt, so liegt bei 5 Hz an den Motorklemmen:

$$U_{5\ Hz} = \frac{220\ V \cdot 5\ Hz}{50\ Hz} = 22\ V$$

  - Dies ist zu wenig, um Nennfluss zu bilden!
  - Die Spannung muss über das lineare Verhältnis u/f angehoben werden.

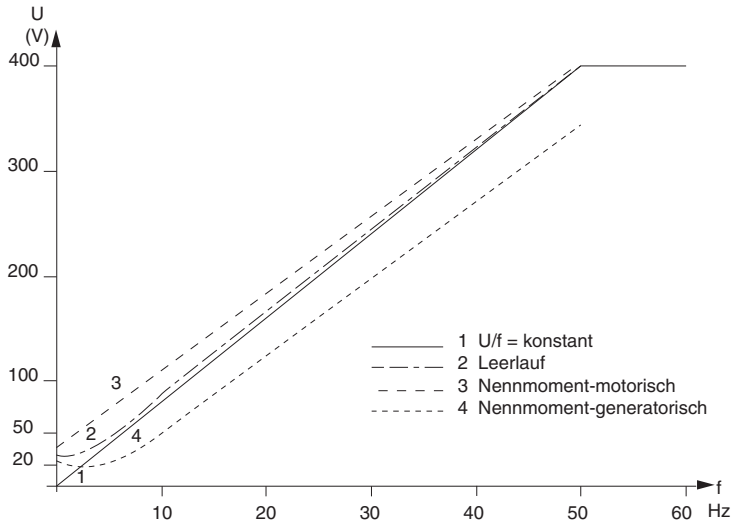


Bild A.6 u/f-Kennlinie bei verschiedenen Lastzuständen

Das Anwendungsbeispiel soll nur aufzeigen, dass eine manuelle Einstellung von Boost nicht mehr Stand der Technik ist.

Motorregelverfahren

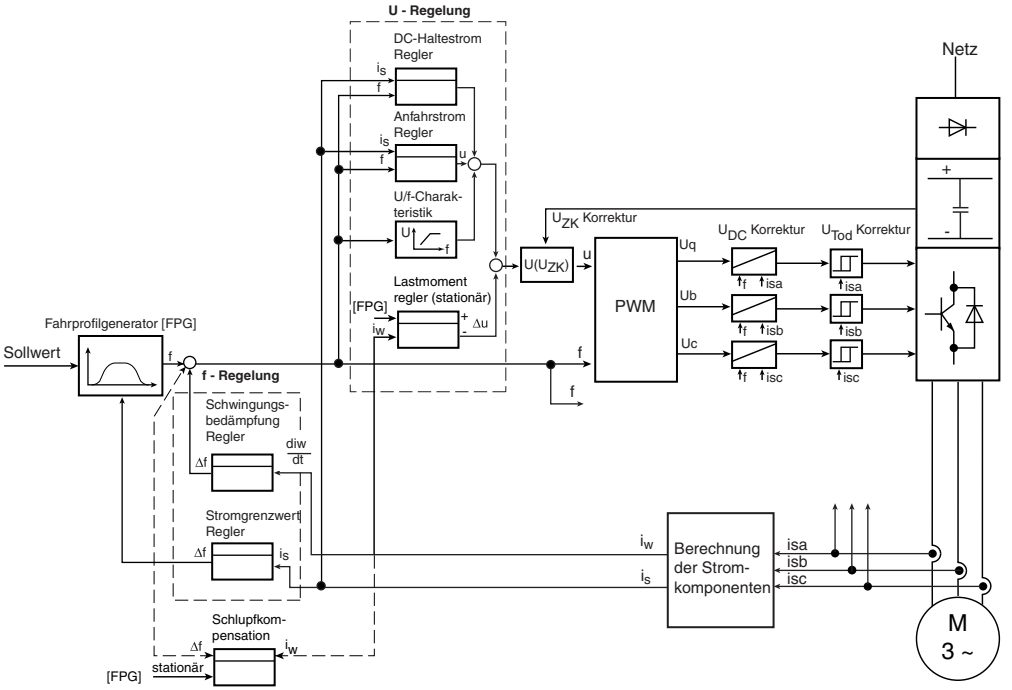


Bild A.7 Regelungstechnisches Blockschaltbild

Regelfunktion	Vorteil	Grenzen
Anfahrstrom Regler	- Automatische Anpassung des Anfahrstroms bzw. der typischen Boostspannung - Anfahren in allen Lastsituationen möglich	- Auf thermische Erwärmung des Motors achten
Lastmomentregler	- Automatische Anpassung der u/f-Kennlinie in stationärem Betrieb - geringe Motorerwärmung - höhere Momentabgabe möglich	- Funktioniert nur im stationären Betrieb, bzw. bringt keine besondere Verbesserung der Dynamik
Stromgrenzwert Regler	- Schwerlastanlauf mit autom. Anpassung der Beschleunigungsrampe - Schutz vor Überstromabschaltung - Verhindert Abkippen des Motors im stationären Betrieb durch Reduzierung der Statorfrequenz	- Funktioniert nur bei konstanter oder fallender Lastmoment-Kennlinie
Schwingungsbedämpfungsregler	- Motoren mit biegekritischen Rotorwellen - Zusätzlich wirkt die Regelfunktion auch bedämpfend bei Beschleunigungsvorgängen mit Mechaniken, welche große Elastizitäten und/oder Lose aufwerfen	- nicht bekannt
Schlupfkompensation	- Reduzierung der Drehzahlschwankung einer Asynchronmaschine auf ca. 2 %	- Die Genauigkeit ist abhängig von der Motortemperatur - Funktion wird in den meisten Fällen über SFC-Motorregelung realisiert

Tabelle A.27 Regelfunktionen vom Antriebsregler mit Motorregelverfahren VFC

A.3.2 Grundprinzip der sensorlosen Drehzahl (SFC)

Lag bei Redaktionsschluss noch nicht vor.

A.3.3 Momentbildung von Synchron- und Asynchronmotoren

Vereinfachtes Funktionsprinzip der Gleichstrommaschine

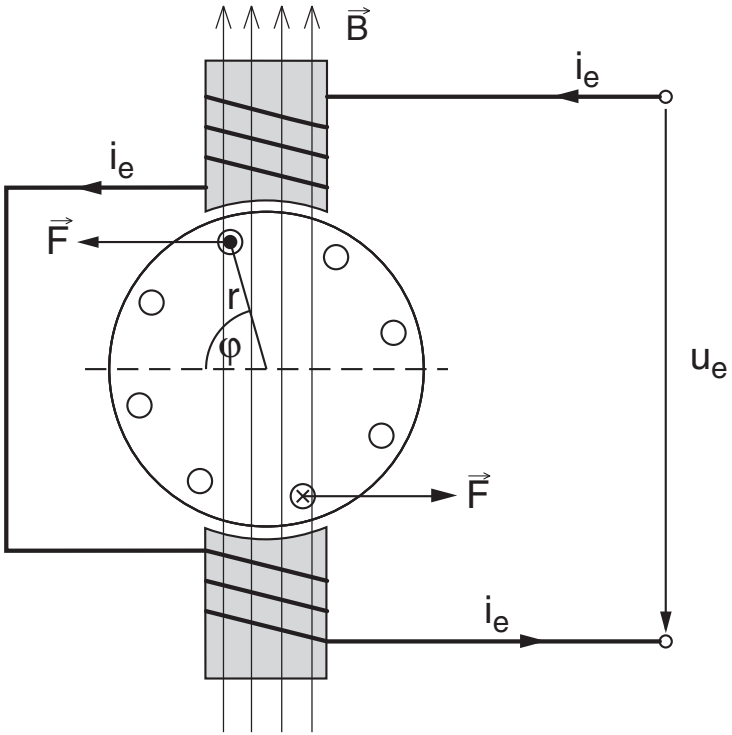


Bild A.8 Vereinfachtes Funktionsprinzip der Gleichstrommaschine

- Feldposition ist durch Lage der Ständerwicklung fest vorgegeben.
- Der Ankerstrom wird durch den Kommutator immer genau dort eingeprägt, wo das Feld am größten ist.

  – $\left.\begin{array}{l} F \sim i_{sq} \cdot \Phi \\ M = F \cdot r \end{array}\right\} \rightarrow M = i_{sq} \cdot \Phi \cdot r, \quad \begin{array}{l} \Phi = \text{konst.} \\ r = \text{konst.} \end{array}$

  – Durch die konstruktive Anordnung des Kommutators wird die Gleichstrommaschine immer optimal, nämlich feldorientiert, gespeist.

Bei einer Gleichstrommaschine begrenzt der verschleißbehaftete Kommutator die Dynamik, max. Drehzahl und das max. Drehmoment bei kleinen Drehzahlen.

Vereinfachtes Funktionsprinzip der permanenterregten Synchronmaschine

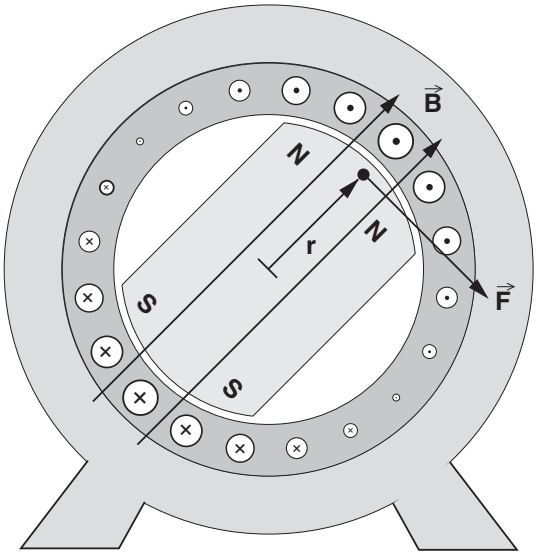


Bild A.9 Vereinfachtes Funktionsprinzip der permanenterregten Synchronmaschine

- Vermeidung des Kommutators durch die Umkehrung des Prinzips.
- Die Feldposition im Rotor ist durch den Lagegeber bekannt.
- Der drehmomentbildende Strom wird über den Ständer genau dort eingeprägt, wo das Feld am größten ist.

  – $\left.\begin{array}{l} F \sim i_{sq} \cdot \Phi \\ M = F \cdot r \end{array}\right\} \rightarrow M = i_{sq} \cdot \Phi \cdot r, \quad \begin{array}{l} \Phi = \text{konst.} \\ r = \text{konst.} \end{array}$

  – Durch den Lagegeber am Rotor wird der drehmomentbildende Strom immer optimal, nämlich feldorientiert, gespeist.

Vereinfachtes Funktionsprinzip der Asynchronmaschine

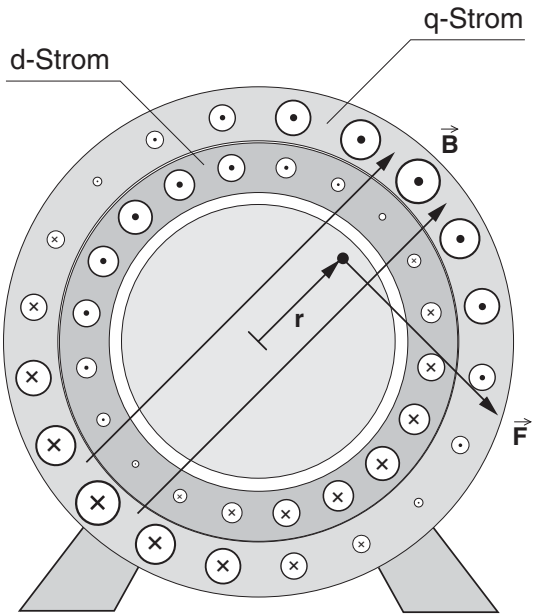


Bild A.10 Vereinfachtes Funktionsprinzip der Asynchronmaschine

- Das Feld im Rotor wird von den Ständerströmen aufgebaut (innere Schale).
- Die Feldposition im Rotor wird mit Hilfe eines Maschinenmodells im Regler berechnet. Dazu müssen die Phasenströme und die Rotordrehzahl bekannt sein.
- Der drehmomentbildende Strom (äußere Schale) wird genau dort eingeprägt, wo das Feld am größten ist.

$$\left.\begin{array}{l} F \sim i_{sq} \cdot \Phi \\ M = F \cdot r \end{array}\right\} \rightarrow M = i_{sq} \cdot \Phi \cdot r, \qquad \begin{array}{l} \Phi = \text{konst.} \\ r = \text{konst.} \end{array}$$

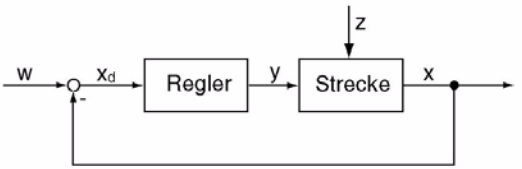
Φ = konst. im Grundstellbereich

– Durch das Maschinenmodell wird der drehmomentbildende Strom immer optimal, nämlich feldorientiert, gespeist.

A.3.4 Regelungstechnikgrundlagen

Der Regelkreis „Aufgaben des Regelkreises“

- Ausgangsgröße auf den Sollwert einregeln
- Störgrößen ausregeln



w: Führungsgröße
x_d: Regeldifferenz, $x_d = w - x$
y: Stellgröße
x: Regelgröße
z: Störgröße

Die Regelstrecke

Die Einteilung der Regelstrecken erfolgt nicht nach den zu regelnden physikalischen Größen, sondern nach ihrem zeitlichen Verhalten.

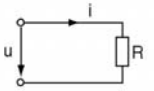
Das Zeitverhalten einer Regelstrecke lässt sich am leichtesten erkennen, wenn die Eingangsgröße sprunghaft verändert wird und gleichzeitig die Ausgangsgröße betrachtet wird.

Die Regelstrecke - P-Glied

Das P-Glied stellt die einfachste Art der Regelstrecke dar. Zwischen Ausgangs- und Eingangsgröße besteht der proportionale Zusammenhang:
$x = K * y$ K: Proportionalitätsfaktor, Verstärkung

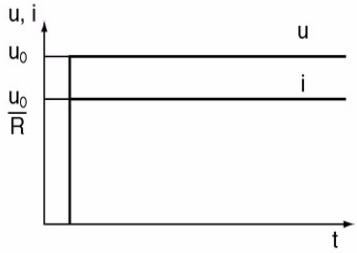
Beispiel:
Der Strom i ist zu jedem Zeitpunkt proportional der Spannung u:

$$i = \frac{1}{R} * u \quad \rightarrow \quad K = \frac{1}{R}$$

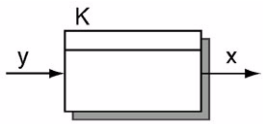


Die Regelstrecke - P-Glied

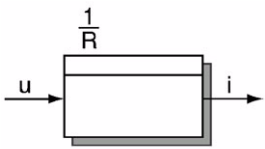
Sprungantwort



Symbol P-Glied



Symbol für Beispiel

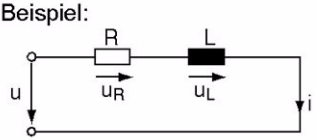


Die Regelstrecke - PT1-Glied

Die meisten Regelstrecken reagieren mehr oder minder verzögert auf ein sprungförmiges Eingangssignal. Dies deutet auf das Vorhandensein eines oder mehrerer Energiespeicher hin. Ein PT1-Glied besitzt einen Speicher und lässt sich beschreiben durch die Differenzialgleichung:

$$x + T \frac{dx}{dt} = K\ y$$

Beispiel:



$$u = u_R + u_L$$

$$u = R * i + L \frac{di}{dt}$$

$$i + \frac{L}{R} \frac{di}{dt} = \frac{1}{R} * u$$

$\frac{1}{R}$: Verstärkung

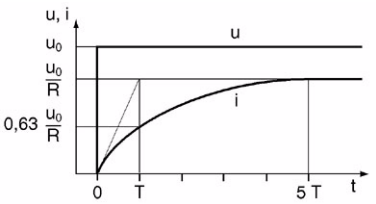
$\frac{L}{R} = T$: Zeitkonstante

T ist der Koeffizient (Multiplikator) der 1. Ableitung der Ausgangsgröße und ist ein Maß für die Verzögerung 1. Ordnung.

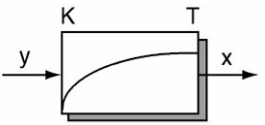
Die Regelstrecke - PT1 - Glied

Sprungantwort

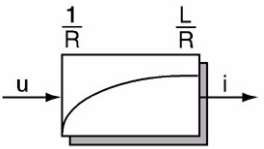
$$i = \frac{u}{R} * (1 - e^{-\frac{t}{T}})$$



Symbol PT1-Glied



Symbol für Beispiel



Nach der Zeit t = ST hat i ca. 99 % seines Endwertes erreicht. Man sagt, dass dann der Einschwingvorgang beendet ist.

Die Regelstrecke - I-Glied

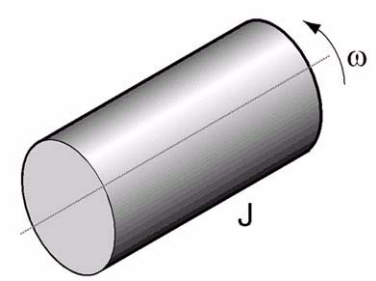
Bei den bisher behandelten Regelstrecken mit P-Verhalten ist das wesentliche Merkmal, dass die Ausgangsgröße, nach einem Sprung der Eingangsgröße, einem neuen festen Endwert zustrebt.

Das I-Glied zeigt ein gänzlich anderes Verhalten. Hier besteht Proportionalität zwischen der Änderungsgeschwindigkeit der Ausgangsgröße und dem Wert der Eingangsgröße:

$$\frac{dx}{dt} = K_I * y$$

Beispiel:
Hochlauf eines Motors der Massenträgheit J aus dem Stillstand mit dem Antriebsmoment ma ohne Last ($m_L = 0$), allgemeine Form der Bewegungsgleichung.

$$J\frac{d\omega}{dt} = m_a - m_L$$



$$J\frac{d\omega}{dt} = m_a - m_L,\ m_L = 0$$

$$J\frac{d\omega}{dt} = m_a$$

$$J\int \frac{d\omega}{dt}\,dt = \int m_a\,dt + c$$

$$J\omega = \int m_a\,dt + c$$

Hochlauf aus Stillstand $\rightarrow \omega\,(t = 0) = 0 \Rightarrow c = 0$

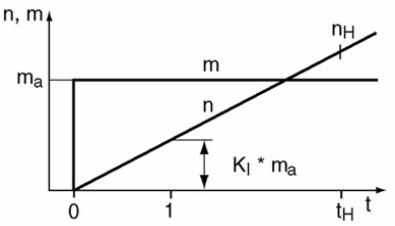
$$\omega = \frac{1}{J}\int m_a\,dt,\ \omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$n = \frac{60}{2\pi J}\int m_a\,dt$$

$\frac{60}{2\pi J} = K_I$: Integrierbeiwert

Die Regelstrecke - I-Glied

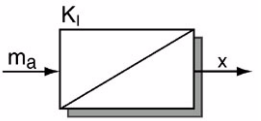
Sprungantwort



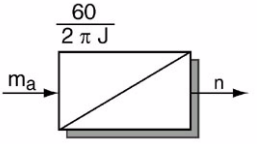
Die Zeit für einen Hochlauf von n = 0 auf n = n_H beträgt:

$$t_H = \frac{dx}{K_I * m_a}$$

Symbol I-Glied



Symbol für Beispiel



Regler

Die Aufgabe eines Reglers besteht darin, die Regelgröße x laufend mit einem vorgegebenen festen oder veränderlichen Sollwert w zu vergleichen und die Regelstrecke so zu beeinflussen, dass die Regeldifferenz x_d Null oder möglichst klein wird.

Ebenso wie die Regelstrecken werden auch die Regler nach ihrem Zeitverhalten unterschieden.

Reglergrundtypen:

- proportional wirkender Regler (P-Regler)
- integral wirkender Regler (I-Regler)
- differenzial wirkender Regler (D-Regler)

Das differenzielle Verhalten ist als alleiniges Arbeitsprinzip für einen Regler ungeeignet, da es nur auf Änderungen der Regeldifferenz x_d anspricht. Es kann also nur als Zusatz zu den beiden anderen Reglerty-

pen verwendet werden. In der Antriebstechnik werden Regler mit differenziellem Verhalten nicht eingesetzt, da sie das Messwertrauschen verstärken, was leicht zu einer Dauerschwingung des Regelkreises führen kann.

Regler - P-Regler

Beim P-Regler besteht Proportionalität zwischen Eingangsgröße x_d und Ausgangsgröße y. Er erzeugt allerdings nur dann am Ausgang eine Stellgröße, wenn am Eingang eine Regeldifferenz vorhanden ist. Dies führt zu einer bleibenden Regelabweichung.

Gleichung des P-Reglers $y = K_P * x_d$ K_P = Verstärkung

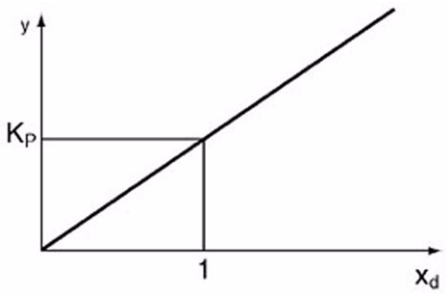
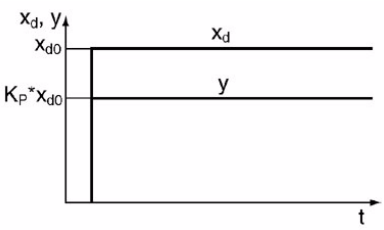
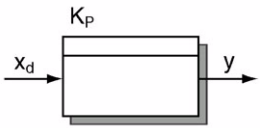


Bild A.11 Kennlinie des P-Reglers

Sprungantwort des P-Reglers



Symbol des P-Reglers



Regler - I-Regler

Beim I - Regler ist die Änderungsgeschwindigkeit der Stellgröße proportional zur Regelabweichung x_d. Es tritt keine bleibende Regelabweichung auf.

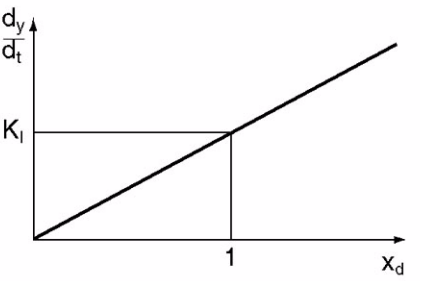
Gleichung des I-Reglers

$$y = K_I \int x_d \, dt$$

$$\leftrightarrow \frac{dy}{dt} = K_I * x_d$$

$\frac{dy}{dt}$ = Änderungsgeschwindigkeit von y

Symbol des P-Reglers

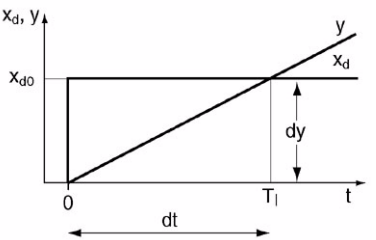


Sprungantwort des I-Reglers

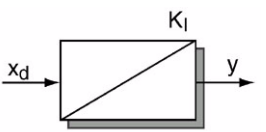
$$\frac{dy}{dt} = K_I * x_{d0} = \frac{x_{d0}}{T_I}$$

$$\leftrightarrow T_I = \frac{1}{K_I}$$

T_I : Integrationszeit
K_I : Integrierbeiwert



Symbol des I-Reglers



Regler - PI-Regler

Der PI - Regler ist eine Kombination aus P-Regler und I-Regler und vereint die Eigenschaften der beiden. Der P-Anteil bewirkt ein sehr schnelles Eingreifen, hat aber den Nachteil, dass die Regeldifferenz nicht völlig beseitigt wird. Der I-Anteil greift relativ langsam ein, führt aber zu einem Verschwinden der Regeldifferenz.

Gleichung des PI-Reglers

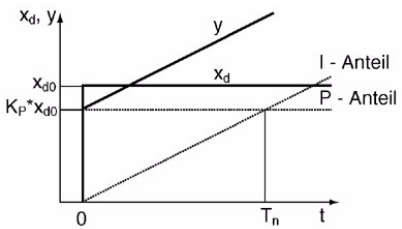
$$y = K_P * x_d + K_I \int x_d \, dt$$

mit $K_I = \frac{K_P}{T_n}$ folgt:

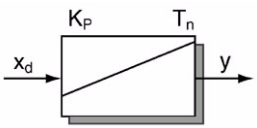
$$y = K_P * x_d + \frac{K_P}{T_n} \int x_d \, dt$$

K_P : Verstärkung
T_n : Nachstellzeit

Sprungantwort des PI-Reglers



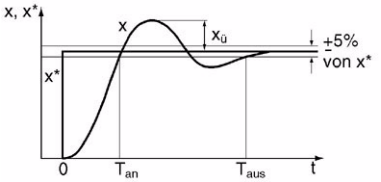
Symbol des PI-Reglers



Regelgüte

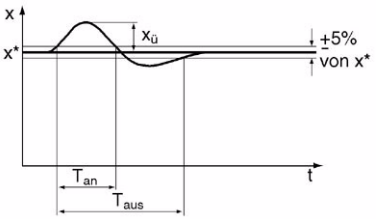
- An eine Regelung werden folgende Anforderungen gestellt:
  - Der Regelkreis muss stabil sein.
  - Der Regelkreis muss eine bestimmte stationäre Genauigkeit aufweisen.
  - Der Regelkreis, d. h. die Antwort auf einen Führungsgrößensprung, muss genügend gedämpft sein.
  - Der Regelkreis muss hinreichend schnell sein.
- Diese Forderungen widersprechen sich zum Teil. Vergrößert man beispielsweise die Dämpfung, um die Überschwingweite klein zu halten, so wird damit zwangsweise die Anregelzeit vergrößert. Es ist daher nur möglich, die für das jeweils vorliegende Regelproblem günstigste Einstellung zu wählen, d. h. es sind Kompromisse zu schließen.

Reglerergebnis bei sprungförmiger Änderung der Führungsgröße (Führungsverhalten)



- Die Anregelzeit T_{an} ist die Zeit, die bis zum erstmaligen Erreichen des Sollwerttoleranzbereichs vergeht.
- Die Ausregelzeit T_{aus} gibt die Zeit an, nach der die Regelgröße endgültig in den Toleranzbereich einmündet ohne ihn wieder zu verlassen.
- Die Überschwingweite $x_ü$ ist ein Maß für die Dämpfung des Regelkreises.

Regelergebnis bei sprungförmiger Änderung der Störgröße (Störverhalten)

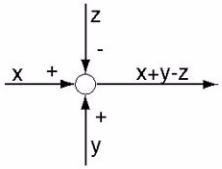


- Das Regelergebnis resultiert immer aus dem Zusammenwirken von Regelstrecke und Regler. Hieraus ist ersichtlich, dass das in der Antriebstechnik gebräuchliche Schlagwort „Momentanregelzeit“ nicht ausschließlich auf die Eigenschaften des Reglers zurückzuführen ist, sondern auch abhängig ist von Motorparametern. Es ist daher nicht möglich, einem Servoumrichter eine bestimmte Momentanregelzeit zuzuordnen.

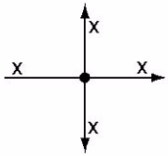
Verknüpfung von Blockschaltbildelementen

Die Verknüpfung von Elementen eines Blockschaltbildes kann auf eine der folgenden Arten erfolgen:

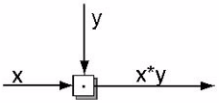
Mischstelle:



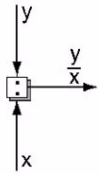
Verzweigungsstelle:



Multiplikationsstelle:



Divisionsstelle:



A.3.5 Grundprinzip der Moment-, Drehzahl- und Lageregelung

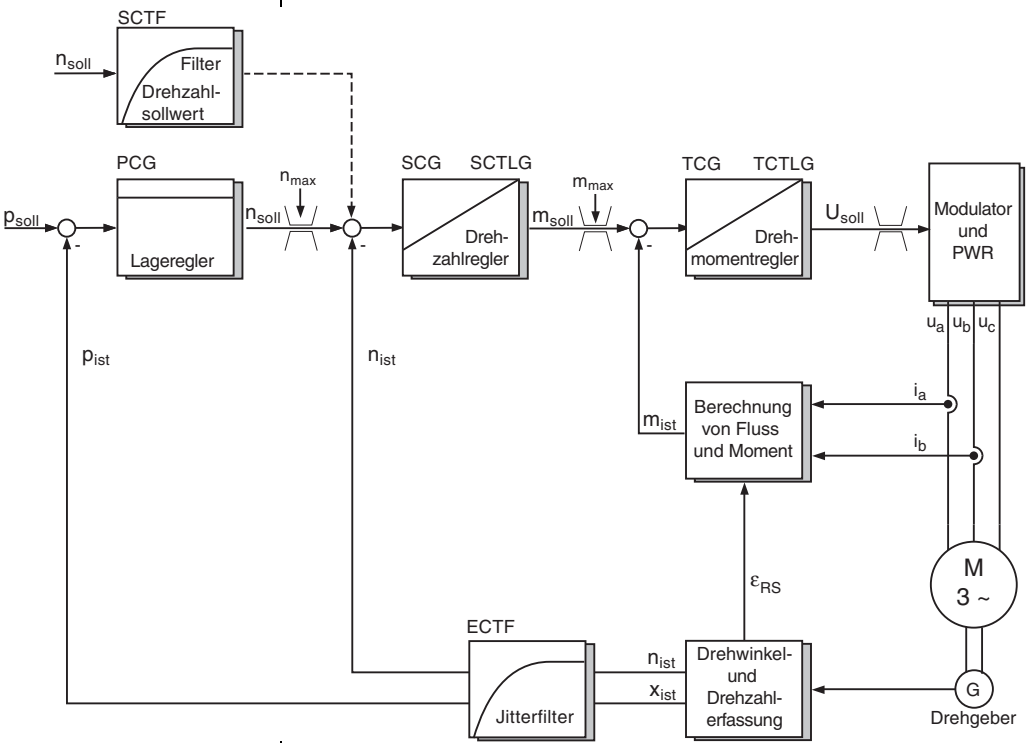


Bild A.12 Typische Regelstruktur im Servoregler

Im Positionier- und Servoregler wird typischerweise die in Bild A.12 dargestellte Regelstruktur verwendet. Dabei ist dem Lageregler bzw. Positionierregler ein Drehzahl- und Drehmomentregler (Stromregler) unterlagert, um ein gutes Führungsverhalten zu erreichen.

Die Regeldifferenz aus der Soll-Position (p_{soll}) und der Ist-Position (p_{ist}) ist die Eingangsgröße des Lagereglers. Der P-Lageregler liefert analog zur Regeldifferenz und der P-Verstärkung (PCG) einen entsprechenden Drehzahlsollwert (n_{soll}). Dieser wird mit dem über den Drehgeber, der Drehwinkelerfassung und dem Jitterfilter (ECTF) zur Verfügung gestellten

Drehzahlistwert (n_{ist}), im untergeordneten Drehzahlregler verglichen. Die Regeldifferenz wird im Drehzahlregler proportional (SGG) – integral (SCTLG) verarbeitet.

Das Ausgangssignal des Drehzahlreglers bildet den Drehmomentsollwert (m_{soll}), welcher mit dem aus dem Maschinenmodell berechneten Ist-Drehmoment (m_{ist}) verglichen wird. Die Regeldifferenz wird im Drehmomentregler auch proportional (TCG) – integral (TCTLG) verarbeitet. Das Ausgangssignal des Drehmomentreglers ist ein Spannungssollwert, welcher über den Pulswechselrichter (PWR) an den Motor gegeben wird.

Optimierung des Drehzahl- und Drehmomentreglers

Der Drehmomentregler wird durch das Einlesen des Motordatensatzes oder über die Motoridentifikation und die zugehörige automatische Parametrierung der Regelkreise optimal eingestellt. Auch die Optimierung des Drehzahlreglers ist, bezogen auf das doppelte Massenträgheitsmoment (Last/Motor 1:1) des Motors, abgeschlossen.

Der Drehzahlregler muss aber noch an die Maschine bzw. die am Motor angekoppelte Mechanik angepasst werden. Hierbei sind folgende Einflussgrößen maßgebend:

- ➢ das reduzierte Massenträgheitsmoment der Mechanik und Last bezogen auf die Motorwelle,
- ➢ die Elastizität der Mechanik (Zahnriemen, Kupplung, Torsion von Wellen u. a.),
- ➢ das lose Spiel in Getriebe und Mechanik.

Das Überprüfen des Antriebsverhaltens wird mit Hilfe der Sprungantwort durchgeführt. Das bedeutet, dass dem Antrieb ein Drehzahlsprung von ca. 100 min^{-1} vorgegeben wird, ohne dass eine Begrenzung durch Drehzahlrampen oder Verschliff vorliegt.

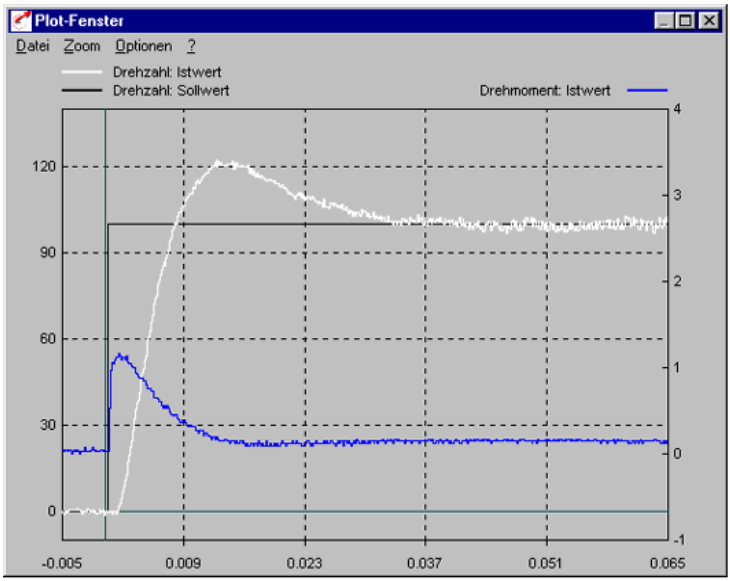


Bild A.13 Sprungantwort der Drehzahl mit optimaler Überschwingweite von ca. 20 %

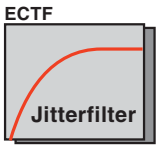
Praxistipp:

Je größer die Massenträgheit der Mechanik und Last der Betriebseinheit ist, desto größer muss die P-Verstärkung (SCG) des Drehzahlreglers sein. Optimale P-Verstärkung wird durch eine steife Mechanik (keine Elastizität und Lose) erreicht.

Es gilt:

- bei steifer Antriebsmechanik (Schleifscheibenantrieb - Schleifscheibe direkt auf der Motorwelle) mit fast keiner Elastizität und Lose ist die P-Verstärkung (SCG) groß und die Nachstellzeit (SCTLG) klein.
- bei einfacher Antriebsmechanik (einfacher Fahrantrieb mit langem Antriebsriemen zur Kraftübertragung) mit großer Elastizität und Lose, muss die P-Verstärkung (SCG) gegenüber steifer Mechanik etwa halbiert werden und die Nachstellzeit (SCTLG) mindestens verdoppelt werden.

Drehzahlistwertfilter



Der Drehzahlistwertfilter soll nur bei Sonderanwendungen verstellt werden. Der Drehzahlistwertfilter reduziert Drehmomentschwankungen, welche durch mangelhaften Geberanbau, schlechte Mechanik oder Rauschen auf dem Gebersignal entstehen können. Durch die Reduzierung der Drehmomentschwankung wird die Rundlaufqualität des Antriebs verbessert, gleichzeitig verliert der Antrieb an Regeldynamik.

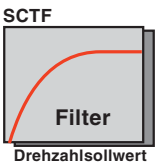
Ein kleiner Drehzahlistwertfilter lässt höhere Regeldynamik bei normaler Rundlaufqualität zu.
Ein großer Drehzahlistwertfilter reduziert die Regeldynamik und erhöht die Rundlaufqualität.

Praxistipp:

Der über das Laden des Motordatensatzes bzw. die Motoridentifikation eingestellte Drehzahlistwertfilter sollte nur verändert werden, wenn wirklich ein besserer Rundlauf benötigt wird.

Bitte beachten Sie, dass durch Veränderung der Filterzeit (ECTF) auch der P- und I-Anteil des Drehzahlreglers neu optimiert werden muss. Überschlägig kann man sagen: bei einer Erhöhung der Filterzeit (ECTFF) um das 3fache, muss die Verstärkung (SCG) etwa halbiert werden und die Nachstellzeit (SCTLG) mindestens verdoppelt werden.

Drehzahlsollwertfilter



Über den Drehzahlsollwertfilter können bei einer reinen Drehzahlregelung mit analoger Sollwertvorgabe die häufig vorkommenden Störungen auf dem Analogsignal ausgefiltert werden.

Optimierung des Lagereglers

Je größer der Parameter „Verstärkung Lageregler“ (PCG) eingestellt wird, desto steifer ist der Antrieb und desto kleiner sind die Schleppfehler während des Positioniervorgangs. Wird die Verstärkung des Lagereglers zu groß gewählt, führt dies zum Überschwingen in der Zielposition oder sogar zu Instabilitäten der Regelung.

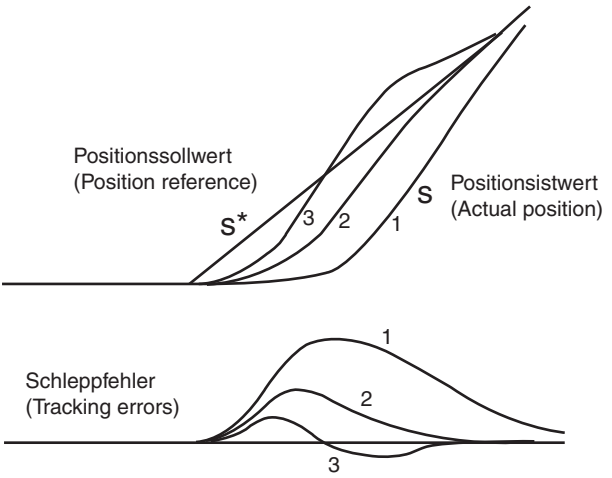


Bild A.14 Positionsistwert und Schleppfehler bei:
1 Verstärkung des Lagereglers zu klein (großer Schleppfehler)
2 Verstärkung des Lagereglers optimal
3 Verstärkung des Lagereglers zu groß (Überschwingen)

Praxistipp:

Je größer die Dynamik des Drehzahlreglers (große Verstärkung, kleine Nachstellzeit) ist, desto dynamischer kann der Lageregler eingestellt werden. Voraussetzung für die Optimierung des Lagereglers ist daher, dass die Optimierung des Drehzahlreglers abgeschlossen ist.

A.3.6 DC-Verbundbetrieb

Der DC-Verbundbetrieb der c-line Antriebsregler ist nur zulässig, wenn eine schriftliche Freigabe der Firma LTI vorliegt siehe Kapitel 3.2.22.

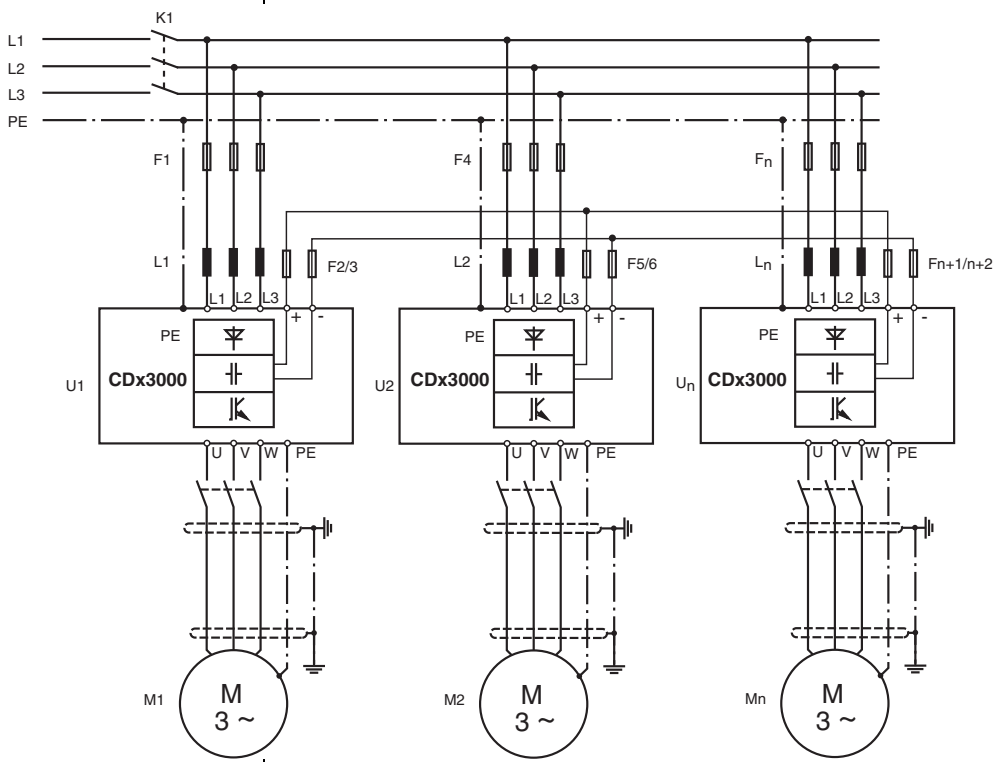


Bild A.15 Schaltbeispiel DC-Verbundbetrieb mit c-line Antriebsreglern

Projektierungshinweise für DC-Verbundbetrieb von dreiphasigen c-line Antriebsreglern

Thema	Projektierungshinweise
Netzanschluss	• Es müssen alle Antriebsregler mit Netzdrossel betrieben werden. Die Netzdrossel dient zur Begrenzung des Netzstroms und zur Strom-/Leistungssymmetrierung der Antriebsreglereingangskreise.
Netzsicherung (F1) mit Meldekontakt	• Durch den Einsatz von Netzsicherungen mit Meldekontakt kann auf den Fehler „**Ausfall einer Netzversorgung**“ mit Abschalten des gesamten DC-Verbundes reagiert werden. Dadurch werden die restlichen Antriebsregler im DC-Verbund nicht überlastet.
Netz Zuschaltbedingung	• Es muss darauf geachtet werden, dass alle Antriebsregler **gleichzeitig** (K1) auf das Netz zugeschaltet werden.
DC-Zwischenkreisanschluss	• Kurze Leitungsverbindungen zum gemeinsamen Zwischenkreissternpunkt realisieren. • Leitungsquerschnitt entsprechend des Netzanschlussquerschnittes (siehe Betriebsanleitung und Kapitel 3.2.2) einsetzen. • DC-Zwischenkreissicherungen entsprechend des Leitungsquerschnittes und den örtlichen Bestimmungen auswählen. Die Sicherungen dienen als Leitungsschutz. **Tipp:** Bei nur zwei Antriebsreglern im DC-Verbund ist ein Sicherungspaar (F3/4) zur Absicherung ausreichend. Wird der DC-Verbund an das Netz zugeschaltet, während ein Antriebsregler einen internen Kurzschluss am Zwischenkreis hat, so koppelt sich der defekte Antriebsregler automatisch über seine PTC-Vorladeschaltung vom DC-Verbund ab. Alle anderen Antriebsregler können weiterbetrieben werden, siehe Bild A.16.

Tabelle A.28 Projektierungshinweise für DC-Verbundbetrieb von dreiphasigen c-line Antriebsreglern

Thema	Projektierungshinweise
Auslegung der externen Bremswiderstände	Ist die Energiebilanz im DC-Verbundbetrieb in einzelne Betriebssituationen generatorisch, dann müssen die Antriebsregler mit externen Bremswiderständen zur Aufnahme der generatorischen Energie betrieben werden. Bei der Auslegung der Bremswiderstände sind nachfolgende Bedingungen zu beachten: 1. Der Ohm'sche Wert des externen Bremswiderstandes darf nicht kleiner als der minimale Ohm'sche Anschlusswert, den der Antriebsregler zulässt, sein. 2. Aus der Addition der Spitzenbremsleistung aller im DC-Verbund betriebenen Bremswiderstände ergibt sich die Spitzenbremsleistung bezogen auf den DC-Verbund. $P_{SDC} = P_{SW1} + P_{SW2} + ... P_{SWn}$ P_{SDC} = Gesamte Spitzenbremsleistung im DC-Verbund P_{SW1} = Spitzenbremsleistung von Bremswiderstand 1 3. Die Dauerbremsleistung des einzelnen Bremswiderstandes wird über die Berechnung der effektiven Bremsleistung ermittelt. $P_{eff} = \sqrt{\frac{P_{SW}^2 \cdot t_1 + P_{SW}^2 \cdot t_2 + \ldots P_{SW} \cdot t_n}{T}}$ P_{SW} = Spitzenbremsleistung des ausgewählten Bremswiderstandes $t_1, t_2 ... t_n$ = Bremszeit 1,2 m ... n Die zulässige Dauerbremsleistung des gewählten Bremswiderstandes muss > P_{eff} sein. Die Zykluszeit (T) muss < 150 s sein.

Tabelle A.28 Projektierungshinweise für DC-Verbundbetrieb von dreiphasigen c-line Antriebsreglern

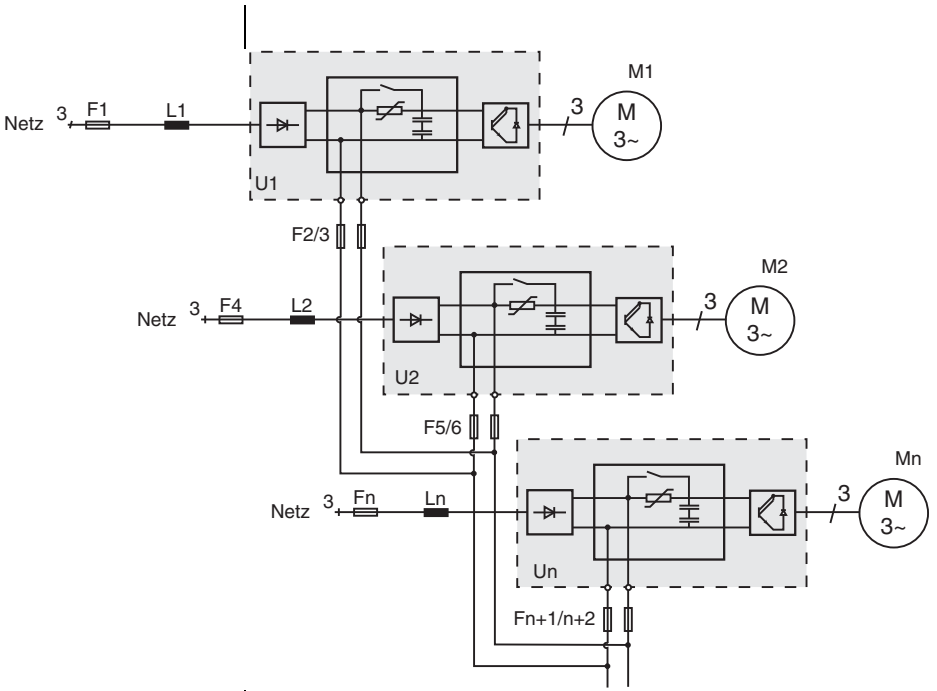


Bild A.16 DC-Verbundbetrieb mit PTC-Vorladeschaltung

- Ein DC-Verbundbetrieb mit VF1000S/M/L, MC6000, MC7000 und CDE/CDB3000 ab 22 kW ist nicht zulässig.
- Der DC-Verbundbetrieb ist nur zulässig, wenn eine schriftliche Freigabe der Firma LTi vorliegt.

Ein DC-Verbundbetrieb mit mehreren 1phasigen Antriebsreglern, welche über L1/N, L2/N und oder L3/N gespeist werden, ist nicht zulässig. Durch die Art der Speisung entsteht eine B6-Brückenschaltung, die zur Zerstörung der Antriebsregler führt.

A.4 Motoren

A.4.1 Wärmeklassen von Elektromotoren

Die verschiedenen zur Isolierung von Elektromotoren verwendeten Werkstoffe sind im Anhang A der überholten DIN VDE 0530 Teil I vom Juli 1991 sowie nach DIN IEC 60085 / VDE 0301 Teil I in *Wärmeklassen* (früher: *Isolierstoffklassen)* eingeteilt *(siehe Tabelle A.29).*

Wärmeklasse (Isolierstoffklasse)	Grenztemperatur des Isolierstoffes °C	Grenzübertemperatur der Wicklung K
B, F, H	130, 155, 180	80, 105, 125

Tabelle A.29 Wärmeklassen von Isolierstoffen

Die zugeordneten höchstzulässigen *Übertemperaturen* sind so gewählt, dass bei Dauerbelastung unter Einschluss ausreichender Sicherheiten eine hohe Lebensdauer gewährleistet ist. So lässt die für Motoren übliche Wärmeklasse B eine Dauertemperatur von 130 °C zu: Ausgehend von einer maximal zulässigen *Umgebungstemperatur* von 40 °C darf die Wicklung, gemessen nach dem Widerstandsverfahren, eine Grenzübertemperatur von 80 K erreichen; 10 K sind wegen einer möglichen örtlich ungleichen Temperaturverteilung als Sicherheitsabstand vorgesehen *(siehe Bild A.17).*

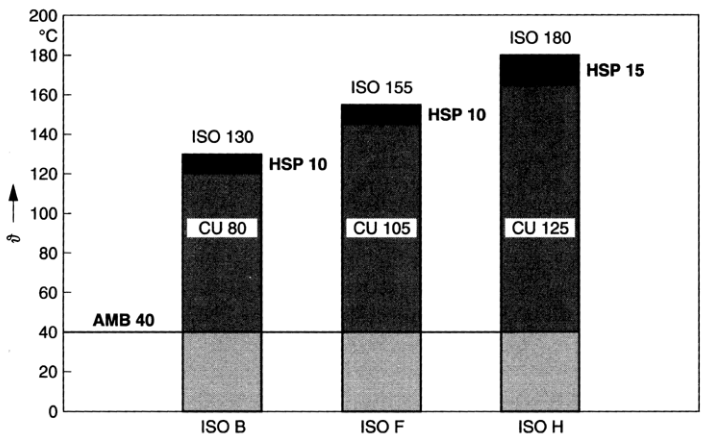


Bild A.17 Grenztemperatur des Isolierstoffs (ISO) und Grenzübertemperatur (über 40 °C Umgebungstemperatur AMB) von Wechselstromwicklungen (CU) bei Motoren bis 200 kW, ermittelt nach dem Widerstandsverfahren DIN EN 60034-1 / VDE 0530 Teil I und DIN / IEC 60085 / VDE 301 Teil I mit Zuschlag für »hottest spot« (HSP)

Bild A.18 zeigt, dass die theoretische Lebensdauer eines Isolierstoffs auf etwa 50 % sinkt, wenn die Temperatur um 10 K angehoben wird.

Mit der Wahl einer höheren Wärmeklasse (z. B. F oder H) können wahlweise zwei Ziele erreicht werden:

- höhere Belastbarkeit bei gleicher theoretischer Lebensdauer,

- höhere Lebensdauer und Sicherheit bei gleicher Belastung.

Meist wird die verbesserte Isolation zur Erzielung einer erhöhten Betriebssicherheit bei anormalen Betriebsbedingungen eingesetzt.

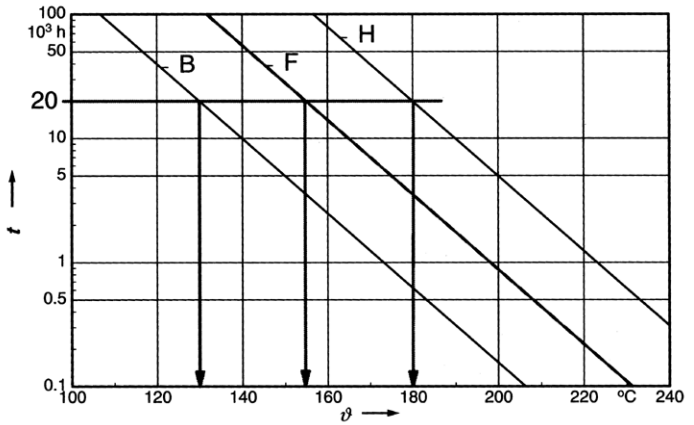


Bild A.18 Theoretische Lebensdauer t von Isolierstoffkomponenten der Wärmeklassen B, F und H bei verschiedenen Temperaturen ϑ

A.4.2 Farbkennzeichnung eines Schwellwert PTC's nach DIN 44081

NAT C	Farbcode	NAT f*	Farbcode	NAT C	Farbcode
60	weiß/grau	110	braun/braun	150	schwarz/schwarz
70	weiß/braun	120	grau/grau	155	blau/schwarz
80	weiß/weiß	130	blau/blau	160	blau/rot
90	grün/grün	140	weiß/blau	170	weiß/grün
100	rot/rot	155	weiß/schwarz	180	weiß/rot

Tabelle A.30 Abstufung und Farbkennzeichnung der Nennansprechtemperatur nach DIN44081

Typischer Widerstandsbereich eines DIN PTC

Temperatur (°C)	typische Widerstandswerte (Ω)
-20 ... 150	50 ... 4000

Tabelle A.31 Typische Widerstandswerte eines DIN-PTC bei einer TNF von 90 ... 160 °C

Diagramm eines DIN PTC

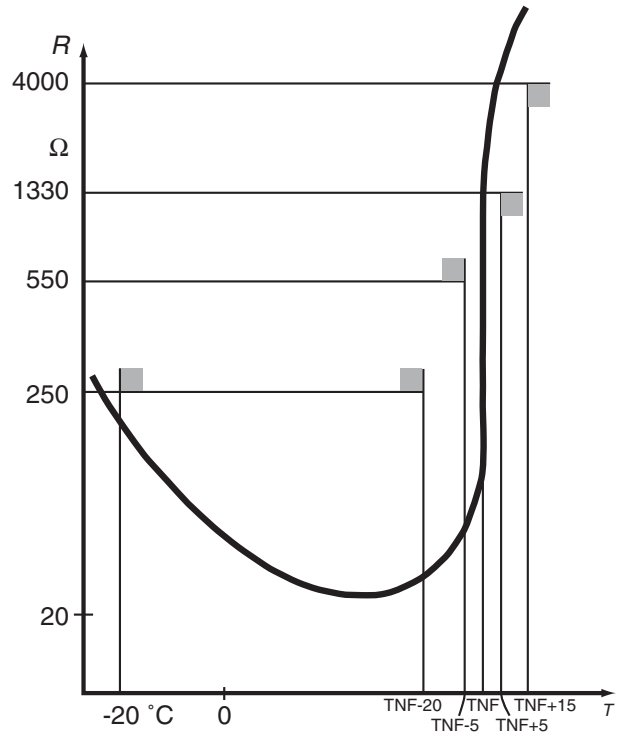


Bild A.19 Widerstandsdiagramm als Funktion der Temperatur eines DIN-PTC

Grundsätzlich wird der Widerstand des DIN-PTC in Bezug auf seine Nennansprechtemperatur (TNF, früher T_{NAT} genannt) definiert.
Der messbare Widerstand ist abhängig von der Einbauvariante (Reihenschaltung der PTC).

PTC-Auswertung in Abhängigkeit des Temperaturverlaufs eines IEC-Normmotors

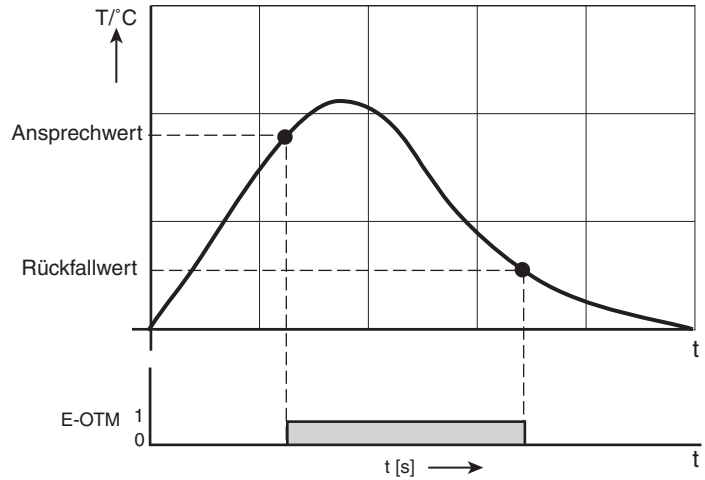
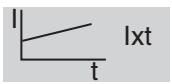


Bild A.20 Auslösediagramm der PTC-Auswertung



Ixt-Überwachung

Die Ixt-Überwachung schützt den Motor im gesamten Drehzahlbereich vor Überhitzung. Dies ist vor allem wichtig bei eigenbelüfteten Motoren, da bei längerem Betrieb mit kleiner Drehzahl die Kühlung durch den Lüfter und das Gehäuse nicht ausreicht. Bei korrekter Einstellung ersetzt diese Funktion einen Motorschutzschalter. Über Stützpunkte lässt sich die Kennlinie den Betriebsbedingungen anpassen.

A.4.3 Linear PTC KTY-130-gel

Typische Widerstandswerte eines linearen PTC (KTY 84 - 130)

Temperatur (°C)	typische Widerstandswerte (Ω) Toleranz ~ +/- 6%
-20	424
0	498
20	581
50	722
80	852
100	1000
150	1334

Tabelle A.32 Typische Widerstandswerte eines linearen PTC des Typs KTY 84-130

Diagramm des PTC KTY 84-130

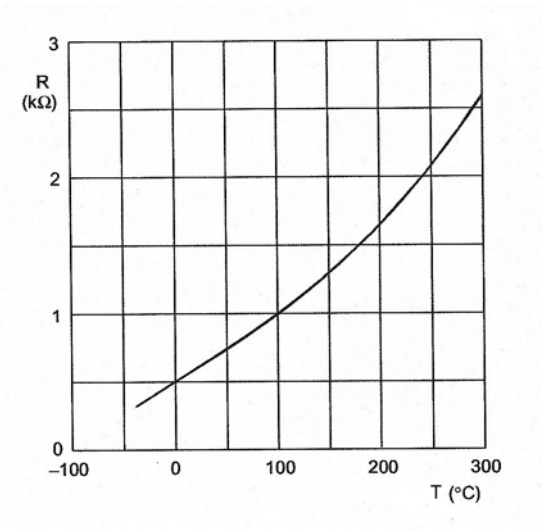


Bild A.21 Widerstandsdiagramm als Funktion der Temperatur eines PTC KTY 84-130

A.4.4 Motorschutzmöglichkeiten

Motorschutzmöglichkeiten

	A	B	C	D	C + D
Überlastart	**Motorschutzschalter (z. B. PKZM)[1)]**	**Thermistorschutzrelais**	**Motor-PTC-Überwachung des Antriebsreglers**	**Softwarefunktion Motorschutz des Antriebsreglers**	**Motor-PTC-Überwachung und Motorschutz des Antriebsreglers**
Überlast im Dauerbetrieb [2)]	●	●	●	●	●
Schweranlauf [3)]	●	◐ [4)]	◐ [4)]	●	●
Blockierung [2)]	●	●	●	●	●
Blockierung [3)]	●	◐ [4)]	◐ [4)]	●	●
Umgebungstemperatur > 50 °C [2)]	○	●	●	○	●
Behinderung der Kühlung [2)]	○	●	●	○	●
Antriebsreglerbetrieb < 50 Hz	○	●	●	◐ [5)]	●

○ Kein Schutz ◐ Bedingter Schutz ● Voller Schutz

1) Betrieb in der Motorleitung zwischen Antriebsregler und Motor zulässig.
2) Antriebsregler und Motor haben die gleiche Leistungsgröße (1:1).
3) Antriebsregler ist mindestens viermal größer als der Motor (4:1).
4) Wirksam bei warmem Motor, zu lange Reaktion bei kaltem Motor.
5) Kein Vollschutz, da nur der zulässige Strom zugrunde gelegt wird.

Tabelle A.33 Motorschutzmöglichkeiten

A.4.5 Typische Motordaten von DS-Normmotoren

DS-Normmotor 3000 min^{-1}, 50 Hz

Drehstrommotoren mit Käfigläufern nach DIN VDE 0530, 3000 min^{-1}, 50 Hz, Schutzart IP54, eigenbelüftet

Baugröße	Leistung P in kW	Wirkungsgrad η in %	Nennmoment M_n in Nm	Massenträgheitsmoment J in kgm²	Nennstrom bei 230/400 V
56S/2	0,09	50	0,31	0,000130	0,80/0,5
56L/2	0,12	49	0,41	0,000160	0,96/0,6
63S/2	0,18	57	0,63	0,000141	1,22/0,75
63L/2	0,25	59	0,86	0,000188	1,5/0,91
71S/2	0,37	69	1,25	0,00035	1,83/1,1
71L/2	0,55	75	1,87	0,000455	2,45/1,45
80S/2	0,75	72	2,58	0,000678	3,25/1,93
80L/2	1,1	78	3,73	0,000904	4,6/2,7
90S/2	1,5	78	5,1	0,00137	5,8/3,4
90L/2	2,2	82	7,4	0,00183	8,4/4,9
100S/2	3,0	73	10,0	0,00282	12,5/7,3
112M/2	4,0	80	13,3	0,00556	14,8/8,6
132S/2	5,5	85	18,3	0,00837	21,1/12,1
132S/2a	7,5	84	24,9	0,012	27,1/15,7
160M/2	11,0	87	36,0	0,033	37,3/21,6
160M/2a	15,0	88	49,0	0,045	48,1/28,1
160L/2	18,5	92	60,0	0,054	59,1/34,1
180M/2	22,0	91	71,0	0,073	74,1/43,1
200L/2	30,0	90	97,0	0,12	96,1/56,1
200L/2a	37,0	92	119,0	0,15	114,1/66,1
225M/2	45,0	93	145,0	0,22	148,1/81,1
250M/2	55,0	95	177,0	0,36	170,1/98,1
280S/2	75,0	93	241,0	0,61	-/135,1
280M/2	90,0	92	289,0	0,70	-/165,1
315S/2	110,0	93	353,0	1,46	-/202,1
315M/2	132,0	92	424,0	1,70	-/244,1
315M/2a	160,0	93	514,0	2,00	-/289,1
315M/2b	200,0	87	641,0	2,20	-/385,1
Bei den Daten handelt es sich um Mittelwerte, die je nach Hersteller leicht variieren können.					

Tabelle A.34 DS-Normmotor 3000 min^{-1}, 50 Hz

DS-Normmotor 1500 min^{-1}, 50 Hz

Drehstrommotoren mit Käfigläufern nach DIN VDE 0530, 1500 min^{-1}, 50 Hz, Schutzart IP54, eigenbelüftet

Baugröße	Leistung P in kW	Wirkungsgrad η in %	Nennmoment M_n in Nm	Massenträgheitsmoment J in kgm²	Nennstrom bei 230/400 V
56S/4	0,06	42	0,42	0,000130	0,62/0,4
56L/4	0,09	39	0,63	0,000160	0,97/0,6
63S/4	0,12	49	0,85	0,000210	0,97/0,6
63L/4	0,18	63	1,26	0,000280	1,1/0,7
71S/4	0,25	61	1,72	0,000560	1,5/0,9
71L/4	0,37	65	2,56	0,000730	2,0/1,2
80S/4	0,55	73	3,8	0,00128	2,7/1,6
80L/4	0,75	80	5,1	0,00165	3,4/2,0
90S/4	1,1	72	7,5	0,00235	5,1/3,0
90L/4	1,5	77	10,2	0,00313	6,5/3,8
90L/4a	2,2	76	15,0	0,00316	9,6/5,6
100L/4	2,2	76	14,9	0,00450	9,5/5,5
100L/4a	3,0	77	20,3	0,00600	12,9/7,5
112M/4	4,0	83	27,0	0,0199	15,7/9,1
132S/4	5,5	85	36,0	0,0233	20,0/11,6
132M/4	7,5	87	49,0	0,0317	28,1/16,3
132M/4a	9,2	87	60,0	0,0354	35,1/20,1
160M/4	11,0	89	72,0	0,062	39,4/23,1
160L/4	15,0	89	98,0	0,083	54,1/31,1
180M/4	18,5	91	121,0	0,127	66,1/38,1
180L/4	22,0	94	143,0	0,153	80,1/44,1
200L/4	30,0	89	195,0	0,249	99,1/57,1
225S/4	37,0	91	240,0	0,392	124,1/70,1
225M/4	45,0	95	290,0	0,474	152,1/85,1
250M/4	55,0	93	355,0	0,736	176,1/98,1
280S/4	75,0	94	484,0	1,22	-/140,1
280M/4	90,0	95	581,0	1,46	-/168,1
315S/4	110,0	94	707,0	2,12	-/210,1
315M/4	132,0	96	849,0	2,54	-/240,1
315M/4a	160,0	96	1029,0	2,97	-/285,1
315M/4b	200,0	93	1286,0	3,25	-/370,1
Bei den Daten handelt es sich um Mittelwerte, die je nach Hersteller leicht variieren können.					

Tabelle A.35 DS-Normmotor 1500 min^{-1}, 50 Hz

DS-Normmotor 1000 min^{-1}, 50 Hz

Drehstrommotoren mit Käfigläufern nach DIN VDE 0530, 1000 min^{-1}, 50 Hz, Schutzart IP54, eigenbelüftet

Baugröße	Leistung P in kW	Wirkungsgrad η in %	Nennmoment M_n in Nm	Massenträgheitsmoment J in kgm²	Nennstrom bei 230/400 V
63S/6	0,09	47	0,97	0,00031	0,88/0,55
63L/6	0,12	41	1,29	0,00042	1,2/0,74
71S/6	0,18	58	1,89	0,00091	1,23/0,75
71M/6	0,25	64	2,58	0,0012	1,66/1,0
80S/6	0,37	57	3,84	0,0022	2,5/1,5
80L/6	0,55	69	5,71	0,0028	3,0/1,78
90S/6	0,75	69	7,83	0,0037	4,1/2,3
90L/6	1,1	68	11,5	0,0050	5,6/3,4
100L/6	1,5	73	15,1	0,010	7,2/4,2
112M/6	2,2	81	22,1	0,018	9,85/5,75
132S/6	3,0	82	29,8	0,031	13,5/7,9
132M/6	4,0	84	39,8	0,038	16,8/9,8
132M/6a	5,5	81	55,8	0,045	23,3/13,5
160M/6	7,5	85	74,0	0,093	28,6/16,6
160L/6	11,0	86	109,0	0,127	42,1/24,1
180M/6	13,0	85	130,0	0,168	49,1/28,1
180L/6	15,0	85	148,0	0,192	55,1/32,1
200LK/6	20,0	88	196,0	0,281	73,1/42,1
200L/6	22,0	91	215,0	0,324	78,1/45,1
225M/6	30,0	89	290,0	0,736	103,1/60,1
250M/6	37,0	93	360,0	1,01	123,1/71,1
280S/6	45,0	92	436,0	1,48	156,1/90,1
280M/6	55,0	92	533,0	1,78	190,1/110,1
315S/6	75,0	92	727,0	2,63	-/143,1
315M/6	90,0	93	878,0	3,08	-/170,1
315M/6a	110,0	95	1061,0	3,63	-/205,1
315M/6b	132,0	93	1273,0	4,17	-/250,1
355S/6	160,0	95	1543,0	10,7	-/290,1
355S/6a	200,0	95	19,29,0	12,7	-/365,1
Bei den Daten handelt es sich um Mittelwerte, die je nach Hersteller leicht variieren können.					

Tabelle A.36 DS-Normmotor 1000 min^{-1}, 50 Hz

A.4.6 Typische Motordaten von Asynchron-Servomotoren

Asynchron-Servomotoren mit Käfigläufern nach DIN 42 950, Selbstkühlung, Schutzart IP 65

Baugröße	Leistung P in kW	Wirkungsgrad η in %	Nennmoment M_n in Nm	Massenträgheitsmoment J in kgm²	Nenndrehzahl n in min^{-1}	Nennstrom in A
ASM(H)31	2,1	83,0	13,0	0,0070	1500	5,2
ASM(H)32	2,7	85,0	17,0	0,0090	1500	6,8
ASM(H)33	3,6	85,0	23,0	0,0130	1500	8,7
ASM(H)34	5,5	87,0	35,0	0,0209	1500	12,6
ASM(H)24	2,1	84,0	10,0	0,00298	2000	5,3
ASM(H)25	2,7	85,0	13,0	0,00384	2000	6,6
ASM(H)11	0,41	76,0	1,3	0,00028	3000	1,4
ASM(H)12	0,54	77,0	1,7	0,00037	3000	1,8
ASM(H)13	0,72	79,0	2,3	0,00047	3000	2,3
ASM(H)14	1,1	80,0	3,5	0,00065	3000	3,3
ASM(H)15	1,5	82,0	4,7	0,00089	3000	4,5
ASM(H)21	1,1	82,0	3,5	0,00109	3000	3,0
ASM(H)22	1,5	83,0	4,7	0,00144	3000	3,9
ASM(H)23	2,2	84,0	7,0	0,00215	3000	5,6
Bei den Daten handelt es sich um Mittelwerte, die je nach Hersteller leicht variieren können.						

Tabelle A.37 Asynchron-Servomotoren, Selbstkühlung

Asynchron - Servomotoren mit Käfigläufern nach DIN 42 950, Fremdkühlung, Schutzart IP 65

Baugröße	Leistung P in kW	Wirkungsgrad η in %	Nennmoment M_n in Nm	Massenträgheitsmoment J in kgm²	Nenndrehzahl n in min^{-1}	Nennstrom in A
ASF(V)31	2,8	80,0	18,0	0,0070	1500	7,0
ASF(V)32	3,6	83,0	23,0	0,0090	1500	8,9
ASF(V)33	5,0	85,0	32,0	0,0130	1500	11,6
ASF(V)34	7,4	87,0	47,0	0,0209	1500	15,4
ASF(V)24	2,7	83,0	13,0	0,00298	2000	6,7
Bei den Daten handelt es sich um Mittelwerte, die je nach Hersteller leicht variieren können.						

Tabelle A.38 Asynchron-Servomotoren, Fremdkühlung

Baugröße	Leistung P in kW	Wirkungs-grad η in %	Nennmo-ment M_n in Nm	Massenträg-heitsmo-ment J in kgm²	Nenndreh-zahl n in min^{-1}	Nenn-strom in A
ASF(V)25	3,4	85,0	16,5	0,00384	2000	8,2
ASF(V)11	0,54	76,0	1,7	0,00028	3000	1,8
ASF(V)12	0,72	78,0	2,3	0,00037	3000	2,4
ASF(V)13	0,94	79,0	3,0	0,00047	3000	2,9
ASF(V)14	1,5	81,0	4,7	0,00065	3000	4,3
ASF(V)15	2,0	82,0	6,5	0,00089	3000	6,2
ASF(V)21	1,5	82,0	4,7	0,00109	3000	3,9
ASF(V)22	2,0	83,0	6,5	0,00144	3000	5,0
ASF(V)23	3,1	85,0	10,0	0,00215	3000	7,4
Bei den Daten handelt es sich um Mittelwerte, die je nach Hersteller leicht variieren können.						

Tabelle A.38 Asynchron-Servomotoren, Fremdkühlung

A.4.7 Übersicht der Motordaten von Synchron-Servomotoren (LSH)

Übersicht Technische Daten

Techn. Daten	Stillstands-moment	Nenndreh-moment	Nennstrom bei 560 V	Nennstrom bei 320 V	Nenndreh-zahl	Massenträgheits-moment
Motor	M_0 [Nm]	M_N [Nm]	I_N [A]	I_N [A]	n_N [min^{-1}]	kg/cm²
LSH-050-1 1)	0,25	0,23	-	0,66	4500	0,06
LSH-050-2 1)	0,5	0,45	-	1,11	4500	0,08
LSH-050-3 1)	0,7	0,65	-	1,49	4500	0,10
LSH-074-1 2)	0,8	0,7	0,95	1,65	3000	0,5
LSH-074-2 2)	1,6	1,3	1,51	2,65	3000	0,7
LSH-074-3 2)	2,7	2,2	2,1	3,65	3000	1,1
LSH-097-1 2)	3,7	3,0	2,6	4,55	3000	1,7
LSH-097-2 2)	5,7	4,3	3,5	6,1	3000	2,6
LSH-097-3 2)	7,8	5,5	4,3	7,5	3000	3,5
LSH-127-1 3)	10,5	7,8	7,3	-	3000	6,8
LSH-127-2 3)	13,5	10,1	9,0	-	3000	8,3
LSH-127-3 3)	17,0	13,5	11,6	-	3000	11,0
LSH-127-4 3)	25	20,0	14,2	-	3000	15,3

1) Zwischenkreisspannung 320 V
2) Zwischenkreisspannung 320 V/560 V
3) Zwischenkreisspannung 560 V

Tabelle A.39 Technische Daten

Ausführliche elektrische Daten sowie detaillierte Maßskizzen entnehmen Sie bitte dem Bestellkatalog „LSH-Servomotoren“.

A.4.8 Typische Motordaten von EUSAS - Systemmotoren

Baugröße	Typ	P_N	n_N	I_N bei 230 V	I_N bei 400 V	η 4/4	cos φ	M_N	M_K/M_N	J_{mot} x10^{-3}	P_N	n_N	I_N
IEC		[kW]	[min^1]	[A]	[A]	[%]		[Nm]		[kgm^2]	[kW]	[min^{-1}]	[A]
63[1]	64K4	0,12	1350	0,9	0,5	55,0	0,61	0,9	2,2	0,30	0,21	2338	0,9
	64N4	0,18	1350	1,0	0,6	60,0	0,66	1,3	2,2	0,40	0,31	2338	1,0
71[1]	72 K4	0,25	1350	1,3	0,8	60,0	0,73	1,8	2,3	0,60	0,43	2338	1,3
	72N4	0,37	1370	1,9	1,1	65,0	0,76	2,6	2,4	0,80	0,64	2373	1,9
80[1]	81 K4	0,55	1390	2,5	1,5	67,0	0,75	3,8	2,4	1,50	0,95	2408	2,5
	81N4	0,75	1390	3,5	2,0	72,0	0,76	5,2	2,4	1,80	1,30	2408	3,5
90[1]	91 S4	1,1	1390	4,6	2,7	75,0	0,77	7,6	2,4	2,80	1,91	2408	4,6
	91 L4	1,5	1400	6,2	3,6	78,0	0,79	10,2	2,7	3,50	2,60	2425	6,2
100[2]	101L4	2,2	1420		5,0	80,5	0,80	14,8	2,4	6,00	4,40	2840	10
	101LA4	3	1410		6,6	82,0	0,82	20,0	3,0	7,00	6,00	2820	13,2
112[2]	114M4	4	1430		8,5	83,5	0,81	26,7	3,0	11,0	8,0	2860	17
	114ML4	5,5	1435		12,7	82,0	0,77	36,6	3,4	14,0	11,0	2870	25,4
132[2]	134S4	5,5	1450	-	11,5	86,0	0,81	36,2	3,1	21,0	11,0	2900	23
	134M4	7,5	1450		15,1	87,0	0,82	49,4	3,0	30,0	15,0	2900	30,2
	134ML4	9,2	1450		20,0	85,0	0,80	60,6	3,0	45,0	18,4	2900	40
	134ML4	10	1440		21,0	85,0	0,81	66,3	2,7	45,0	20,0	2880	42
160[2]	161M4	11	1445		22,0	88,5	0,84	73	2,7	75	22	2890	44
	161L4	15	1455		29,0	90,0	0,83	99	3,2	92	30	2910	58
180[2]	181M4	18,5	1460		35	90,5	0,83	121	3,0	139	37	2920	70
	181L4	22	1420		41	91,0	0,84	148	3,0	158	44	2840	82
200[2]	201L4	30	1465		55	91,5	0,86	196,	2,8	262	60	2930	110
225[2]	226S4	37	1470		68	92,0	0,85	240	2,8	406	74	2940	136
	226M4	45	1475		81	92,5	0,87	291	2,9	469	90	2950	162
250[2]	251M4	55	1470		98	93,0	0,86	357	3,1	660	110	2940	196
	251ML4	75	1480		134	94,0	0,80	484	2,2	880	150	2960	268
280[2]	281S4	75	1485		135	93,5	0,86	482	3,0	1120	150	2970	270
	281M4	90	1480		157	94,0	0,88	581	2,9	1460	180	2960	314
	281ML4	110	1480		190	94,0	0,89	710	3,1	2680	220	2960	380

1) 87 Hz/400 V (EUSAS Ausführung)
2) 100 Hz/400 V (EUSAS-Ausführung)

Tabelle A.40 4-polige Systemmotor-Basisdateien

EUSAS-Ausführung

EUSAS-Motoren mit einer Drehzahl sind mit einer Weitbereichswicklung ausgeführt und bei gleichbleibender Bemessungs- (Nenn-) leistung für Spannungen und Frequenzen in folgenden Bereichen einsetzbar:

a) Motoren bis inkl. Bg. 90: Weitbereichswicklung

Dreieck / Stern

220 - 230 - 240 V / 380 - 400 - 420 V bei 50 Hz
220 - 255 - 280 V / 380 - 440 - 480 V bei 60 Hz

b) Motoren ab Bg. 100: Weitbereichswicklung und spannungsumschaltbar

Es gibt 4 Schaltungsmöglichkeiten, die Motoren sind mit 9 Statorklemmen ausgeführt.

Nennleistung P_N
Dreieck (Grundschaltung) △ 380 - 400 - 420 V bei 50 Hz 380 - 440 - 480 V bei 60 Hz
Doppeldreieck △△ 190 - 200 - 210 V bei 50 Hz 190 - 220 - 240 V bei 60 Hz
Stern Y 660 - 690 (- 730) V bei 50 Hz 660 - 760 (- 830) V bei 60 Hz
Doppelstern YY 330 - 346 - 365 V bei 50 Hz 330 - 380 - 415 V bei 60 Hz

Die Motoren sind bei den Bemessungsdaten berechnet nach ISO-Klasse B, aber gefertigt nach ISO-Klasse F und deshalb bei Betrieb mit den Bemessungsdaten höher belastbar:

a) Bei Bemessungsleistung und Bemessungsspannung kann die Kühlmitteltemperatur von 40 °C auf 60 °C erhöht werden.

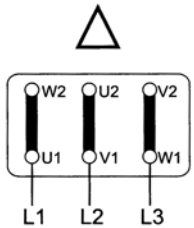
b) Wenn 40 °C nicht überschritten werden, kann bei gleichmäßigem Betrieb die Bemessungsleistung um ca. 10 % gesteigert werden.

Die technischen Daten gelten für die Bemessungswerte, d.h. Bemessungsspannung und Bemessungsfrequenz. Werden die Motoren über oder unter der Bemessungsspannung im Weitbereich betrieben, wird die Statorwicklung nach F ausgenutzt.

Die Auslegung der Weitbereichswicklung enthält Spannungsschwankungen zu den angegebenen Weitbereichsspannungen im Netz von ±5 % bei gleichbleibender Leistung. Fett gedruckte Werte gelten als Bemessungswerte.

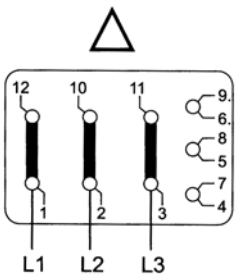
Klemmenanschluss für EUSAS-Motoren bis inkl. Baugröße 90:

220 - 240 V, 50 Hz
220 - 280 V, 60 Hz
Dreieckschaltung

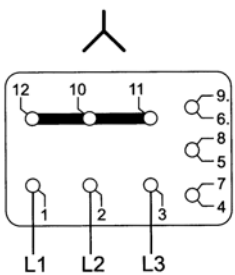


Klemmenanschluss für EUSAS-Motoren ab Baugröße 100 bis 280:

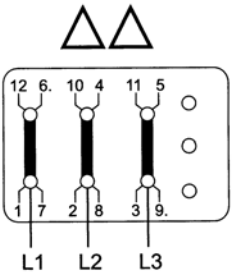
380 - 420 V, 50 Hz
380 - 480 V, 60 Hz
Dreieckschaltung
Standardlieferung



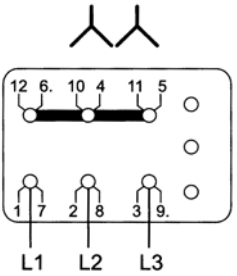
660 (- 730 V), 50 Hz
660 (- 830 V), 60 Hz
Sternschaltung



190 - 210 V, 50 Hz
190 - 240 V, 60 Hz
Dreieck/Dreieck-
schaltung



330 - 365 V, 50 Hz
330 - 415 V, 60 Hz
Stern/Sternschaltung



A.4.9 Typische Motordaten von schlanken Drehstrommotoren aus Alustrangpressprofil

Eigenschaften der Drehstrommotoren

Die langen und schlanken Drehstrommotoren aus Alustrangpressprofil sind optimal auf die Umrichter CDA3000 und CDB2000/3000 abgestimmt. Sie bauen in der Regel eine Baugröße kleiner als IEC-Normmotoren (bei gleicher Abgabeleistung in Betriebsart S1) und sind so dynamisch wie Asynchron-Servomotoren.

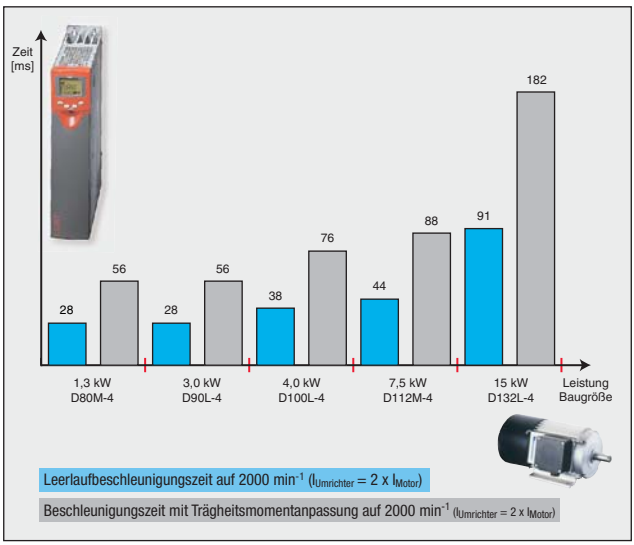


Bild A.22 Beschleunigung

Technische Daten Motoren

Asynchron-Drehstrommotoren für ⅄ 360 V / △208 V

	Bauform	Baulänge	Abtriebswelle	Trägheitsmoment ohne Geber	Nennleistung	Nennmoment	Nennstrom ⅄360 V/△ 208 V	Nenndrehzahl	Wirkungsgrad	cos φ
Bestellbezeichnung Motortyp		**[mm]**	**[mm]**	**[kgcm²]**	**[kW]**	**[Nm]**	**[A]**	**[min^{-1}]**		
182022100 4DF71L-4	B14	207	14 x 30	13,1	0,75	3,67	1,95/3,4	1950	0,77	0,8
182022200 4D80e-4	B3	233	19 x 40	14,6	1,1	5,33	2,9/5,0	1970	0,8	0,76
182022300 4D90Ld-4	B3	304,5	24 x 50	39,2	3	14,5	6,8/11,8	1970	0,83	0,86
182022400 4D100Lc-4	B3	309	28 x 60	71,6	4	19,3	8,9/15,4	1980	0,84	0,86
182022500 4D112M-4	B3	329	28 x 60	147	7,5	35,4	16,4/28,4	2020	0,85	0,86
182022600 4D132L-4	B3	484	38 x 80	599	15	70,2	33/57	2040	0,88	0,83

Tabelle A.41 Technische Daten

A.4.10 Neue Anschluss-kennzeichnun-gen für dre-hende elektrische Maschinen

Einführung

Die Anschlusskennzeichnungen von drehenden elektrischen Maschinen werden zukünftig gemäß der überarbeiteten Norm EN 60034-8:2002 vereinheitlicht. Demnach müssen alle nationalen Normen, die der EN 60034-8:2002 entgegenstehen, bis zum 1. Oktober 2005 zurückgezogen werden. In Deutschland betrifft dies die alte DIN 60034-8:1972 + A1:1990 + A2:1996 (VDE 0530-Teil 8).

Die im ZVEI (Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V.) organisierten Motorenhersteller wollen ab dem 1. Januar 2005 auf die neue Norm umstellen.

Allgemeines zur EN 60034-8

Die Norm gilt für Wechselstrom- und Gleichstrommaschinen und spezifiziert:

- Regeln zur Identifikation von Wicklungsanschlusspunkten
- Kennzeichnung von Wicklungsanschlüssen
- Drehrichtung
- Beziehung zwischen Anschlusskennzeichnungen und Drehsinn
- Anschlusskennzeichnung und Zubehör
- Anschlussschaltbilder für Maschinen für allgemeine Anwendungen

Einige wesentliche Änderungen

Die nachfolgend dargestellten Beispiele sollen einen Eindruck von den Änderungen der Norm vermitteln. Sie können nicht vollständig alle Änderungen im Detail wiedergeben. Der Kauf der Norm wird daher empfohlen (Bezugsadresse: Beuth-Verlag, Berlin).

1. Änderungen der Klemmenbezeichnungen

Das Anschlussbild für eine Dreiphasenwicklung mit zwei Anzapfungen zeigt beispielhaft auf, wie sich die Klemmenbezeichnungen und Symbole verändern.

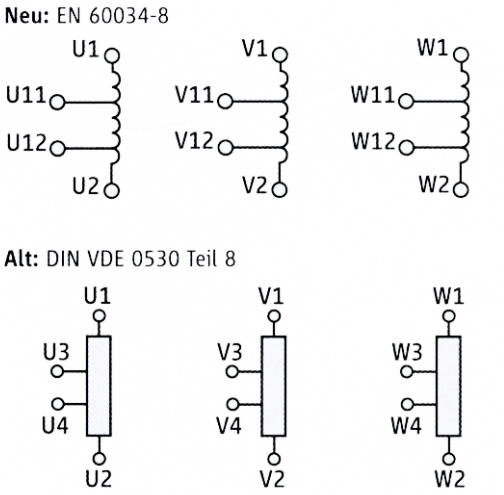


Bild A.23 Dreiphasenwicklung, zwei Anzapfungen pro Element nach der neuen EN 60034-8 bzw. der alten DIN VDE 0530 Teil 8

2. Regeln zur Kennzeichnung von Hilfsklemmen

Die Kennzeichnung von Hilfsanschlüssen erfolgt jetzt unter Verwendung der Kennzeichnung der Zusatzeinrichtung in Verbindung mit:

- einer Vorsetzziffer, den jeweiligen Kreis oder die Einheit kennzeichnend;
- einer Nachsetzziffer, die Funktion des Leiters kennzeichnend.

BA	**A**C **b**rake	Wechselstrombremse
BD	**D**C **b**rake	Gleichstrombremse
BW	**B**rush**w**ear detector	Bürstenüberwachung
CA	**C**apacitor	Kondensator
CT	**C**urrent **t**ransformer	Stromtransformator
HE	**He**ater	Heizung
LA	**L**ightning **a**rrestor	Blitzschutz
PT	**Potenzial t**ransformer	Potenzialtransformator

Tabelle A.42 Zusatzeinrichtungen

R	**R**esistance **t**hermometer	Widerstandsthermometer
SC	**S**urge **c**apacitor	Spannungsschutzkondensator
SP	**S**urge **p**rotector	Überspannungsschutz
S	**S**witches incl. plugging switches	Schalter einschließlich steckbarem Schalter
TB	**T**hermostat opening on increase of temperature	Thermoschalter öffnend bei Temperaturanstieg
TC	**T**hermo**c**ouple	Thermoelemente
TM	**T**hermostat closing on increase of temperature	Thermoschalter, schließend bei Temperaturanstieg
TN	**T**hermistor with **n**egative temperature coefficient	Temperaturfühler, negativer Temperaturkoeffizient
TP	**T**hermistor with **p**ositive temperature coefficient	Temperaturfühler, positiver Temperaturkoeffizient
K	**Empfehlung:** Temperature sensor based on Silicon-diode	Silizium-Temperatursensor

Tabelle A.42 Zusatzeinrichtungen

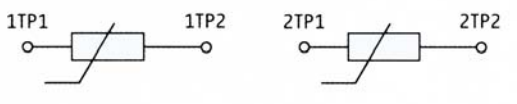


Bild A.24 Beispiel für eine Zweileiteranordnung eines Temperaturfühlers mit positivem Temperaturkoeffizient

- *Anmerkung:* Bei nur einem Stromkreis kann die Ziffer weggelassen werden.
- Empfehlung: Die Polarität sollte mit + und - gekennzeichnet werden.

3. Präzisierung der Drehrichtung

Die Drehrichtung ist die, die sich bei Blick auf die Antriebsseite ergibt. Wenn die Maschinen gemäß den genormten Anschlussbezeichnungen angeschlossen werden, stellt sich Rechtslauf ein. In allen anderen Fällen, einschließlich der Maschinen für nur eine einzige Drehrichtung, muss die Drehrichtung durch einen leicht sichtbaren Pfeil gekennzeichnet sein.

4. Aufnahme von Anschlussbildern für Maschinen für gebräuchliche Anwendungen

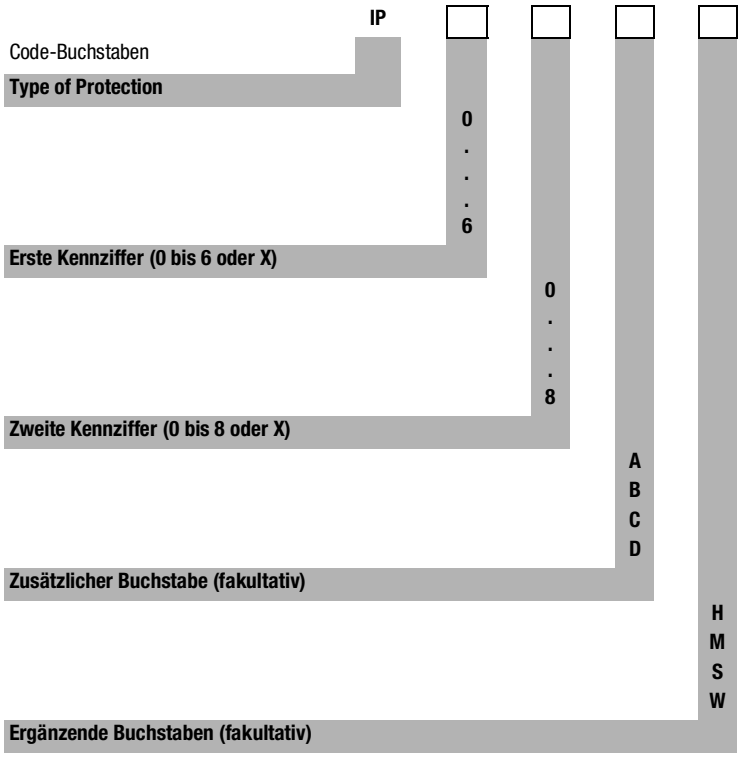
Die EN 60034-8:2002 enthält neben generellen Regeln für Klemmenbezeichnungen eine Fülle von Anschlussbildern, wie sie für gebräuchliche Anwendungen verwendet werden sollen.

Die Umstellung auf die neuen Anschlusskennzeichnungen gemäß der EN 60034-8.2002 erfolgt nach und nach ab Auftragseingang 1. Januar 2005.
Bei der Instandsetzung von Maschinen, die nach alter Norm ausgeliefert wurden, besteht keine Verpflichtung zur Umstellung (Bestandsschutz).

A.5 Schutzart

A.5.1 Schutzart/IP-Code nach IEC/EN

Die Schutzart durch ein Gehäuse wird mit einem alphanumerischen Code (IP-Code) bezeichnet. Die Erläuterungen zu dem IP-Code gelten für den in EN 60529/DIN VDE 0470, Teil 1 festgelegten Standard.



Fakultativer Zusatzbuchstabe: Zusätzliche Buchstaben werden nur verwendet wenn:

1. der tatsächliche Schutz gegen das Berühren von gefährlichen Teilen höher ist als der durch die erste Kennziffer angegebene oder
2. nur der Schutz gegen das Berühren von gefährlichen Teilen angegeben wird und die erste Kennziffer durch ein X ersetzt ist.

Bestandteil	Ziffern oder Buchstaben	Bedeutung für den Schutz des Betriebsmittels	Bedeutung für den Schutz von Personen
Code-Buchstaben	**IP**	**-**	**-**
Erste Kennziffer	0	Gegen Eindringen von festen Fremdkörpern (nicht geschützt)	Gegen Berühren von gefährlichen Teilen mit (nicht geschützt)
	1	> 50 mm Durchmesser	Handrücken
	2	> 12,5 mm Durchmesser	Finger
	3	> 2,5 mm Durchmesser	Werkzeug
	4	> 1,0 mm Durchmesser	Draht
	5	staubgeschützt	Draht
	6	staubdicht	Draht
Zweite Kennziffer	0	Gegen Eindringen von Wasser mit schädlichen Wirkungen (nicht geschützt)	-
	1	senkrechtes Tropfen	-
	2	Tropfen (15° Neigung)	-
	3	Sprühwasser	-
	4	Spritzwasser	-
	5	Strahlwasser	-
	6	starkes Strahlwasser	-
	7	zeitweiliges Untertauchen	-
	8	dauerndes Untertauchen	-
Zusätzlicher Buchstabe (fakultativ)	A	-	Gegen Berühren von gefährlichen Teilen mit Handrücken
	B	-	Finger
	C	-	Werkzeug
	D	-	Draht
Ergänzender Buchstabe (fakultativ)	H	Ergänzende Information speziell für: Hochspannungsgeräte	-
	M	Bewegung während Wasserprüfung	-
	S	Stillstand während Wasserprüfung	-
	W	Wetterbedingungen	-

Tabelle A.43 Bedeutung der IP-Code Kennziffern und Buchstaben

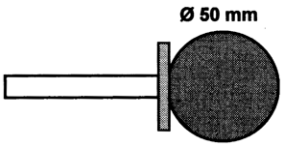
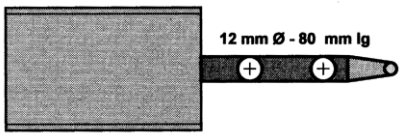
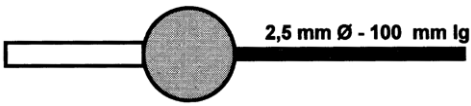
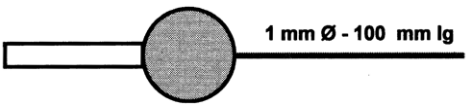
Schutz gegen Berühren mit	Zugangssonde	Erläuterung
Handrücken		Die Platte zwischen Kugel und Handgriff ist kein Anschlag, sondern ein Schutz für den Prüfer.
Finger		Der „gegliederte Prüffinger“ hat zwei Gelenke; er ist im Rahmen der IP-Prüfung nur bis zu der im Bild dargestellten ersten Anschlagfläche 50 mm x 20 mm nach 80 mm Länge zu benutzen.
Werkzeug		Die „Anschlagfläche“ ist als Kugel 35 mm Durchmesser ausgebildet; sie soll die Knöchel simulieren, wenn das Werkzeug oder der Draht in der Hand gehalten wird.
Draht		

Tabelle A.44 Zugangssonden für die Prüfung des Berührungsschutzes im IP-System

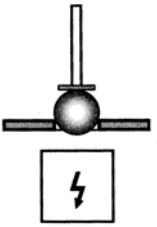
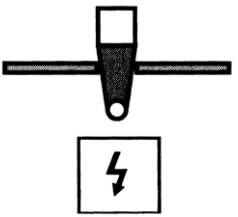
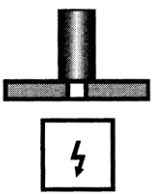
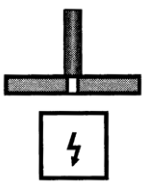
Schutzgrad	Schutz von Personen gegen Zugang zu gefährlichen Teilen	
IP1X	Handrücken	
IP2X	Finger	
IP3X	Werkzeug	
IP4X IP5X IP6X	Draht	

Tabelle A.45 Anforderungen an den Berührungsschutz bei den ersten Kennziffern

Schutzgrad	Schutz des Betriebsmittels gegen Eindringen von Staub [1)]
IP5X	**Staubgeschützt:** Das Eindringen von Staub ist nicht vollständig zu verhindern, aber Staub darf nicht in einer solchen Menge eindringen, dass das zufriedenstellende Arbeiten des Betriebsmittels oder die Sicherheit beeinträchtigt ist.
IP6X	Es darf kein Staub in das Betriebsmittel eindringen.
1) Staubschutzprüfung nach EN 60529/DIN VDE 0470, Teil 1	

Tabelle A.46 Anforderung an den Staubschutz bei den ersten Kennziffern (5.6)

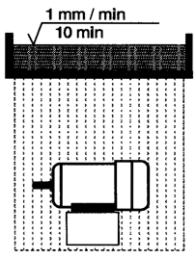
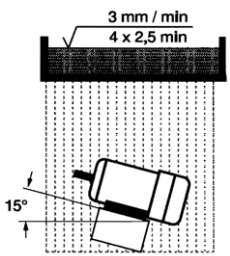
Schutzgrad	Schutz gegen	Schema der Prüfung
IPX1	Tropfwasser	
IPX2	Tropfwasser bei 15° Neigung	

Tabelle A.47 Anforderungen an den Wasserschutz bei den zweiten Kennziffern IPX1 ... IPX8

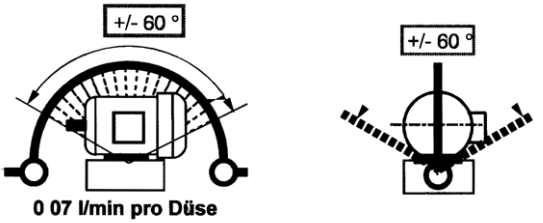
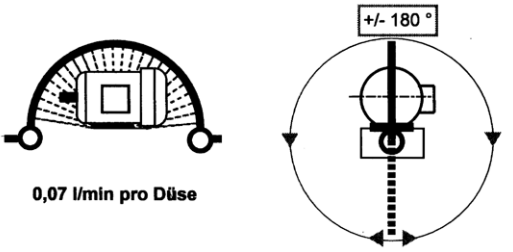
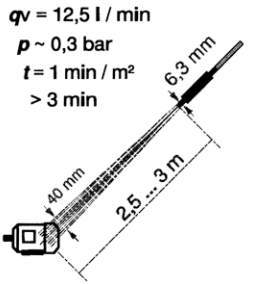
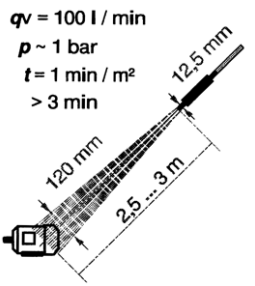
Schutzgrad	Schutz gegen	Schema der Prüfung
IPX3	Sprühwasser	
IPX4	Spritzwasser	
IPX5	Strahlwasser	
IPX6	starkes Strahlwasser	

Tabelle A.47 Anforderungen an den Wasserschutz bei den zweiten Kennziffern IPX1 ... IPX8

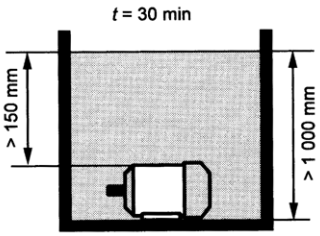
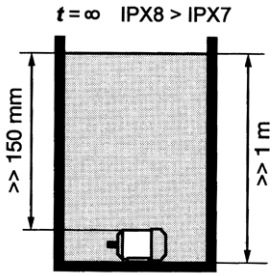
Schutzgrad	Schutz gegen	Schema der Prüfung
IPX7	zeitweiliges Untertauchen	
IPX8	dauerndes Untertauchen	

Tabelle A.47 Anforderungen an den Wasserschutz bei den zweiten Kennziffern IPX1 ... IPX8

A.5.2 Schutzart nach EEMAC und Nema

Schutzarten elektrischer Betriebsmittel für USA und Kanada zu IEC 529/EN 60529, VDE 0470, Teil 1

Die Angabe der IP-Schutzarten stellt einen groben Vergleich dar. Ein genauer Vergleich ist nicht möglich, da Schutzartprüfungen und Beurteilungskriterien unterschiedlich sind.

Kennzeichnung des Gehäuses und der Schutzart		Kennzeichnung des Gehäuses und der Schutzart nach CSA-C22.1 (Canadian Electrical Code) CSA-C22.2 No. 94	Vergleichbare IP-Schutzart nach IEC 529/DIN 40050
nach NEC NFPA 70 (National Electrical Code) nach UL 508 nach NEMA No. 250-1985	nach NEMA ICS6-19831) nach EEMAC E 14-22)		
Gehäuse Typ 1	Gehäuse Typ 1 allgemeine Verwendung	Gehäuse 1 Gehäuse für allgemeine Verwendung	IP 20
Gehäuse Typ 2 tropfdicht	Gehäuse Typ 2 tropfsicher	Gehäuse 2 tropfsicheres Gehäuse	IP 22
Gehäuse Typ 3 staubdicht, regendicht	Gehäuse Typ 3 staubdicht, regendicht, beständig gegen Hagel und Eis	Gehäuse 3 wettersicheres Gehäuse	IP 54
Gehäuse Typ 3 R regensicher	Gehäuse Typ 3 R regensicher, beständig gegen Hagel und Eis		
Gehäuse Typ 3 S staubdicht, regendicht	Gehäuse Typ 3 S staubdicht, regendicht, sicher gegen Hagel und Eis		
Gehäuse Typ 4 regendicht, wasserdicht	Gehäuse Typ 4 staubdicht, wasserdicht	Gehäuse 4 wasserdichtes Gehäuse	IP 65
Gehäuse Typ 4 X regendicht, wasserdicht, korrosionsbeständig	Gehäuse Typ 4 X staubdicht, wasserdicht, korrosionsbeständig		
Gehäuse Typ 6 regendicht	Gehäuse Typ 6 staubdicht, wasserdicht, eintauchbar, beständig gegen Hagel und Eis		

Tabelle A.48 Schutzarten elektrischer Betriebsmittel für USA und Kanada

Kennzeichnung des Gehäuses und der Schutzart		Kennzeichnung des Gehäuses und der Schutzart nach CSA-C22.1 (Canadian Electrical Code) CSA-C22.2 No. 94	Vergleichbare IP-Schutzart nach IEC 529/DIN 40050
nach NEC NFPA 70 (National Electrical Code) nach UL 508 nach NEMA No. 250-1985	nach NEMA ICS6-19831) nach EEMAC E 14-22)		
Gehäuse Typ 6 P regendicht, korrosionsbeständig			
Gehäuse Typ 11 tropfdicht, korrosionsbeständig	Gehäuse Typ 11 tropfsicher, korrosionsbeständig, ölgetaucht		
Gehäuse Typ 12 staubdicht, tropfdicht	Gehäuse Typ 12 Verwendung in der Industrie, tropfdicht, staubdicht	Gehäuse 5 staubdichtes Gehäuse	IP 54
Gehäuse Typ 12 K (wie bei Typ 12)			
Gehäuse Typ 13 staubdicht, tropfdicht	Gehäuse Typ 13 staubdicht, öldicht		

Tabelle A.48 Schutzarten elektrischer Betriebsmittel für USA und Kanada

1) NEMA= National Electrical Manufacturers Association

2) EEMAC= Electrical and Electronic Manufacturers Association of Canada (Verband der kanadischen elektrotechnischen und elektronischen Industrie)

Begriffe deutsch/englisch:

allgemeine Verwendung:	general purpose
tropfdicht:	drip-tight
staubdicht:	dust-tight
regendicht:	rain-tight
regensicher:	rain-proof
wettersicher:	weather-proof
wasserdicht:	water-tight
eintauchbar:	submersible
eisbeständig:	ice resistant
hagelbeständig:	sleet resistant
korrosionsbeständig:	corrosion resistant
öldicht:	oil-tight

A.5.3 Kabelverschraubungen mit PG/ Metrische Gewinde

Technische Daten für den Einbau

PG-Gewinde DIN40430	Nenngewinde			
	Ød1	Ød2	P	Ød3
PG 7	11,28	12,50	1,27	13,0 ±0,2
PG 9	13,35	15,20	1,41	15,7 ±0,2
PG 11	17,26	18,60	1,41	19,0 + 0,2
PG13.5	19,06	20,40	1,41	21,0 ±0,2
PG 16	21,16	22,50	1,41	23,0 ±0,2
PG21	26,78	28,30	1,588	28,8 ±0,2
PG29	35,48	37,00	1,588	37,5 ±0,3
PG36	45,48	47,00	1,588	47,5 + 0,3
PG42	52,48	54,00	1,588	54, 5 ±0,3
PG48	57,73	59,30	1,588	59,8 ±0,3
Metrische Gewinde DIN 46319	**Nenngewinde**			
	Ød1	**Ød2**	**P**	**Ød3**
M 12x 1,5	10,38	12	1,5	12,5 ±0,2
M 16 x 1,5	14,38	16	1,5	16,5 ±0,2
M 20 x 1,5	18,38	20	1,5	20,5 ±0,2
M 25 x 1,5	23,38	25	1,5	25,5 ±0,2
M 32 x 1 ,5	30,38	32	1,5	32,5 ±0,2
M 40 x 1,5	38,38	40	1,5	40,5 + 0,3
M 50 x 1,5	48,38	50	1,5	50,5 ±0,3
M 63 x 1,5	61,38	63	1,5	64,0 ±0,3
Metrische Gewinde DIN 89 280	**Nenngewinde**			
	Ød1	**Ød2**	**P**	**Ød3**
M 18 x 1,5	16,38	18	1,5	18,5 ±0,2
M 24 x 1,5	22,38	24	1,5	24,5 ±0,2
M 30x2,0	27,34	30	2,0	30,5 ±0,2
M 36 x 2,0	33,34	36	2,0	36,5 ±0,2
M 45x2,0	42,34	45	2,0	45,5 ±0,3
M 56x2,0	53,34	58	2,0	57,0 ±0,3
M 72 x 2,0	68,82	72	2,0	73,0 ±0,3

d1 = Kerndurchmesser d3 = Bohrungsdurchmesser
d2 = Aussendurchmesser p = Steigung

Tabelle A.49 Technische Daten für den Einbau

A.5.4 Außendurchmesser von Leitungen und Kabel

Anzahl der Leiter	ungefährer Außendurchmesser (Mittelwert mehrerer Fabrikate)				
	NYM	NYY	HOS RR-F	H07 RN-F	NYCY NYCWY
Querschnitt mm^2	mm max.	mm	mm max.	mm max.	mm
2 x 1,5	10	11	9	10	12
2 x 2,5	11	13	13	11	14
3 x 1,5	10	12	10	10	13
3 x 2,5	11	13	11	12	14
3 x 4	13	17	-	14	15
3 x 6	15	18	-	16	16
3 x 10	18	20	-	23	18
3 x 16	20	22	-	25	22
4 x 1,5	11	13	9	11	13
4 x 2,5	12	14	11	13	15
4 x 4	14	16	-	15	16
4 x 6	16	17	-	17	18
4 x 10	18	19	-	23	21
4 x 16	22	23	-	27	24
4 x 25	27	27	-	32	30
4 x 35	30	28	-	36	31
4 x 50	-	30	-	42	34
4 x 70	-	34	-	47	38
4 x 95	-	39	-	53	43
4 x 120	-	42	-	-	46
4 x 150	-	47	-	-	52
4 x 185	-	55	-	-	60
4 x 240	-	62	-	-	70
5 x 1,5	11	14	12	14	15
5 x 2,5	13	15	14	17.	17
5 x 4	15	17	-	19	18
5 x 6	17	19	-	21	20

Tabelle A.50 Durchmesser von Leitungen und Kabeln

Anzahl der Leiter	ungefährer Außendurchmesser (Mittelwert mehrerer Fabrikate)				
	NYM	NYY	HOS RR-F	H07 RN-F	NYCY NYCWY
Querschnitt mm^2	mm max.	mm	mm max.	mm max.	mm
5 x 10	20	21	-	26	-
5 x 16	25	23	-	30	-
8 x 1,5	-	15	-	-	-
10 x 1,5	_	18	-	-	-
16 x 1,5	-	20	-	-	-
24 x 1,5	-	25	-	-	-

Tabelle A.50 Durchmesser von Leitungen und Kabeln

NYM: Mantelleitung
NYY: Kabel mit Kunststoffmantel
H05RR-F: leichte Gummischlauchleitung (NLH + NSH)

NYCY: Kabel mit konzentrischem Leiter und Kunststoffmantel
NYCWY: Kabel mit konzentrischem wellenförmigen Leiter und Kunststoffmantel

A.5.5 Strombelastbarkeit von PVC-isolierten Kupferleitungen

Querschnitt mm²	Verlegearten			
	B1	B2	C	E
	Strombelastbarkeit I_z			
0,75	7,6	-	-	-
1,0	10,4	9,6	11,7	11,5
1,5	13,5	12,2	15,2	16,1
2,5	18,3	16,5	21	22
4	25	23	28	30
6	32	29	36	37
10	44	40	50	52
16	60	53	66	70
25	77	67	84	88
35	97	83	104	114
50	-	-	123	123
70	-	-	155	155
95	-	-	192	192
120	-	-	221	221
Elektronik (Paare)				
0,2	-	-	4,0	4,0
0,3	-	-	5,0	5,0
0,5	-	-	7,1	7,1
0,75	-	-	9,1	9,1

- Für von +40 °C abweichende Umgebungstemperaturen sind die Strombelastbarkeiten mit den Werten in Tabelle A.52 zu korrigieren.
- Diese Werte sind für flexible aufgetrommelte Leitungen nicht anwendbar.
- Für die Strombelastbarkeit anderer Kabel und Leitungen siehe IEC 60364-5-523.

Tabelle A.51 Strombelastbarkeit

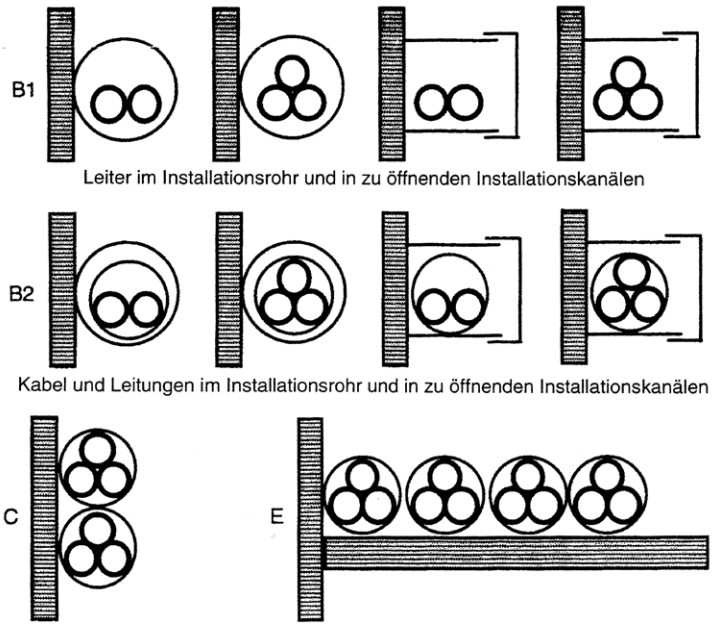

B1
Leiter im Installationsrohr und in zu öffnenden Installationskanälen
B2
Kabel und Leitungen im Installationsrohr und in zu öffnenden Installationskanälen
C
E
Kabel und Leitungen an Wänden und auf offenen Kabelpritschen

Bild A.25 Methoden der Leiter-, Kabel- und Leitungsverlegung

Umgebungstemperatur der Luft °C	Korrekturfaktor
30	1,15
35	1,08
40	1,00
45	0,91
50	0,82
55	0,71
60	0,58
ANMERKUNG: Die Korrekturfaktoren sind IEC 60364-5-523, Tabelle 52-D1 entnommen.	

Tabelle A.52 Korrekturfaktoren Umgebungstemperatur

A.5.6 Farbkodierung für Drucktaster/ Bedienteile

Farbe	Bedeutung	Erklärung	Anwendungsbeispiele
ROT	Notfall	Bei gefahrbringendem Zustand oder im Notfall betätigen.	Stillsetzen im Notfall Einleitung von Not-Funktionen (siehe auch 10.2.1)
GELB	Anormal	Bei einem anormalen Zustand betätigen.	Eingriff, um einen anormalen Zustand zu unterdrücken. Eingriff, um einen unterbrochenen automatischen Ablauf wieder zu starten.
GRÜN	Normal	Betätigen, um übliche Zustände einzuleiten.	
BLAU	Zwingend	Bei einem Zustand betätigen, der eine zwingende Handlung erfordert.	Rückstellfunktion
WEISS	Keine spezielle Bedeutung zugeordnet	Für allgemeine Einleitung von Funktionen außer Stillsetzen im Notfall (siehe Anmerkung).	START/EIN (bevorzugt) STOP/AUS
GRAU			START/EIN STOP/AUS
SCHWARZ			START/EIN STOP/AUS (bevorzugt)
ANMERKUNG: Wo ein zusätzliches Kodierungsmittel (z. B. Form, Lage, Oberflächenbeschaffenheit) zum Kennzeichnen von Drucktaster/Bedienteilen verwendet wird, dürfen die gleichen Farben WEISS, GRAU oder SCHWARZ für verschiedene Funktionen verwendet werden (z. B. WEISS für START/EIN- und STOP/AUS-Bedienteile).			

Tabelle A.53 Farbkodierung für Drucktaster/Bedienteile

A.5.7 Farben von Leuchtmeldern

Farbe	Bedeutung	Erklärung	Handlung durch den Bediener
ROT	Notfall	Gefahrbringender Zustand	Sofortige Handlung, um auf einen gefahrbringenden Zustand zu reagieren (z. B. durch Betätigung des Stillsetzens im Notfall)
GELB	Anormal	Anormaler Zustand; bevorstehender kritischer Zustand	Überwachen und/oder Eingreifen (z. B. durch Wiederherstellen der vorgesehenen Funktion)
GRÜN	Normal	Normaler Zustand	Optional
BLAU	Zwingend	Anzeige eines Zustandes, der Handlung durch den Bediener erfordert.	Zwingende Handlung
WEISS	Neutral	Andere Zustände; darf verwendet werden, wenn Zweifel über die Anwendung von ROT, GELB, GRÜN oder BLAU bestehen.	Überwachen

Tabelle A.54 Farben von Leuchtmeldern

Blinksignale

Zur weiteren Unterscheidung oder als Zusatzinformation und um etwas zusätzlich besonders hervorzuheben, darf für folgende Zwecke Blinklicht verwendet werden:

- um Aufmerksamkeit zu bewirken;
- um sofortiges Handeln zu veranlassen;
- um einen Unterschied zwischen Soll- und Istzustand anzuzeigen;
- um eine Änderung eines Prozesses anzuzeigen (Blinken während eines Übergangs).

Es wird empfohlen, den wichtigeren Informationen die höheren Blinkfrequenzen zuzuordnen (siehe IEC 60073 für empfohlene Blinkfrequenzen und Puls-/Pausen-Verhältnisse).

A.5.8 Genormte Querschnitte von runden Leitern (ISO/AWG)

	AWG / MCM	
ISO - Querschnitt mm²	Größe	Äquivalenter Querschnitt mm²
0,2	24	0,205
-	22	0,324
0,5	20	0,519
0,75	18	0,82
1,0	-	-
1,5	16	1,3
2,5	14	2,1
4,0	12	3,3
6,0	10	5,3
10	8	8,4
16	6	13,3
25	4	21,2
35	2	33,6
50	0	53,5
70	00	67,4
95	000	85,0
-	0000	107,2
120	250 MCM	127
150	300 MCM	152
185	350 MCM	177
240	500 MCM	253
300	600 MCM	304

Tabelle A.55 Querschnitte von runden Leitern

Anhang B Praktische Arbeitshilfen für den Projekteur

Erfassen der Bewegungsaufgabe	Projektname:

Firma: _____ Name/Funktion: _____

_____ _____

_____ _____

Branche/Anwendung: _____

Ziel: _____

_____

_____

Besondere Randbedingungen: _____

_____

_____

_____

Bemerkung: _____

_____

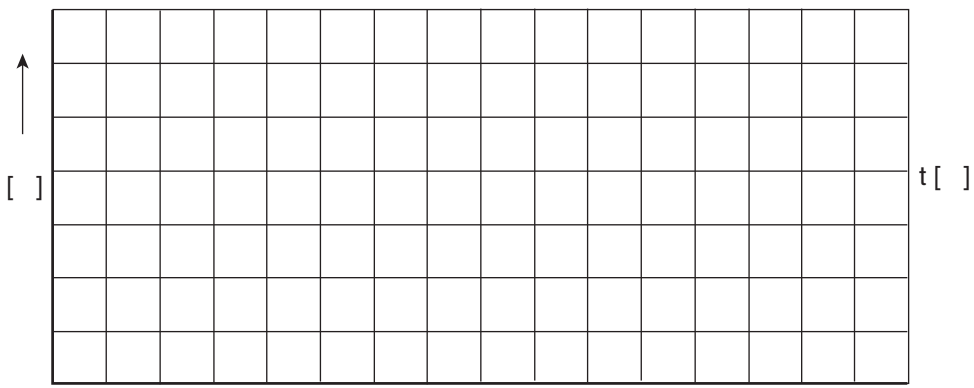
_____

_____

Ersteller: _____ Datum: _____ Blatt ..... von .....

Verarbeitungstechnische Bewegungsanforderung	Projektname: _____

☐ kontinuierlicher Stoffffluss ☐ diskontinuierlicher Chargenprozess ☐ diskontinuierlicher Stückgutprozess



☐ rotatorische Bewegung [n = f(t)] ☐ translatorische Bewegung [v = f(t)]

Radius der Antriebswelle, über die die Bewegung erzeugt wird _____ mm

Bemerkung: _____

_____

_____

Ersteller: _____ Datum: _____ Blatt ..... von .....

Verarbeitungstechnische Bewegungsanforderung

Projektname: _____

Trägheits- : _____ [kgm²] moment

oder

Masse: _____ [kg]

Bewegungsart: _____

_____

Drehzahlstellbereich: _____

Momentanregelzeit: _____ [ms]

statische Drehzahlgenauigkeit: _____ [min^{-1}]

Positioniergenauigkeit: _____ [ms]

dynamische Drehzahlgenauigkeit: _____ [min^{-1}]

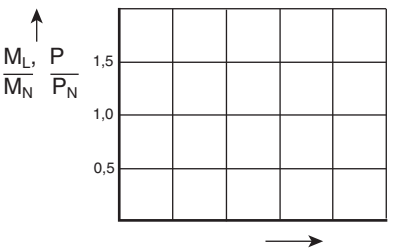
Bemerkung: _____

_____

_____

Lastmoment des Verarbeitungsprozesses

- ☐ M_L~ 1/n, P = konstant
- ☐ M_L = konstant, P~n
- ☐ M_L = f(n), P = f(n)
- ☐ M_L ~ n^2, P ~ n^3
- ☐ M_L = f(n)
- ☐ M_L = f(s)
- ☐ M_L = f(α)
- ☐ M_L = f(t)



Ersteller: _____ Datum: _____ Blatt ..... von .....

Weitere Daten aus dem Umfeld	Projektname:

Automatisierungsprozess: _____

_____

_____

_____

Umwelt- und Installationsumgebung: _____

_____

_____

_____

Normen, Vorschriften und Sicherheit: _____

_____

_____

_____

Ersteller: _____ Datum: _____ Blatt ..... von .....

Anhang C Literatur- und Quellenverzeichnis

Literatur- und Quellenverzeichnis zu Kapitel 1

Das 1x1 der Antriebstechnik
Friedrich Wilhelm Garbrecht - Joachim Schäfer
ISBN 3-8007-2005-1
VDE-Verlag

Projektmanagement
J. Boy - C. Dudek - S. Kuschel
ISBN 3-930799-01-4
Gabal

Positionieren mit Antriebsreglern durch Echtzeitverarbeitung, Teil 1
Joachim Schäfer
Fachartikel in der Antriebstechnik 1991, Nr. 3

Positionieren mit Antriebsreglern durch Echtzeitverarbeitung, Teil 2
Joachim Schäfer
Fachartikel in der Antriebstechnik 1991, Nr. 5

Produkt- und Anlagenoptimierung
Wolfram Fischer, Wilhelm Dangelmaier
ISBN 3-540-66577-3
Springer Verlag

Montage strategisch ausrichten
Praxisbeispiel marktorientierter Proszesse und Strukturen
K. Feldmann, H.-J. Gergs, S. Slama, U. Wirth
ISBN 3-540-40304-3

Motion Control
Peter F. Brosch
ISBN 3-478-93285-8
Verlag Moderne Industrie

Drehzahlvariable Antriebe für die Automatisierung
Peter F. Brosch
ISBN 3-8259-1904-8
Vogel Verlag

Visualisieren Präsentieren Moderieren
Josef W. Seifert
ISBN 3-930799-00-6
Gabal Verlag

Modularisierung von Produkten
Marc Müller
Hanser Verlag

Literatur- und Quellenverzeichnis zu Kapitel 2

Der Drehstrommotor
Karl Falk
ISBN 3-8007-2078-7
VDE - Verlag

Grundlagen der elektrischen Antriebstechnik mit Berechnungsbeispielen
Johannes Vogel
ISBN 3-7785-1547-0
VEB Verlag Technik

Dynamische Eigenschaften von Drehstrom-Motoren
Joachim Schäfer
Fachartikel in der AGT 1994, Nr. 2

Elektromaschinen und Antriebe
Jahrbuch 2004
Dipl. Ing. Volkmar Christner
Hüthig & Pflaum Verlag
ISBN 3-8101-0181-8

Schutzmaßnahmen bei Drehstromantrieben
Dipl. Ing. Helmut Greiner
Hüthig Verlag Heidelberg
ISBN 3-7785-2730-4

Präzisions-Getriebe für die Automation
Christian Mayr
ISBN 3-478-93032-4
Verlag Moderne Industrie

Getriebemotoren
Franz Josef Mack, Michael Wagner-Ambs
ISBN 3-478-93095-2
Verlag Moderne Industrie

Datenschnittstellen der HEIDENHAIN-Geräte Serviceanleitung
Dr. Johannes Heidenhain GmbH
http://www.heidenhain.de

Messgeräte für elektrische Antriebe Produktkatalog
Dr. Johannes Heidenhain GmbH
http://www.heidenhain.de

Drehgeber
Produktkatalog
Hengstler GmbH, Aldingen
http://www.hengstler.de

Sensortechnik - Drehgeber und lineare Messtechnik
Produktkatalog
Fritz Kübler GmbH, Villingen-Schwenningen
http://www.kuebler.com

Synchron serielles Interface für absolute Winkelcodierer
Produktinformation
Max Stegmann GmbH Antriebstechnik, Donaueschingen
http://www.stegmann.de

Motorfeedback-Systeme für Servomotoren
SinCos® SRS/M 50 / SRS/M 60 (HIPERFACE® kompatibel)
Produktinformation
Max Stegmann GmbH Antriebstechnik, Donaueschingen
http://www.stegmann.de

Modulares Antriebssystem MAS 2000
WATTDRIVE Antriebstechnik, A-Markt Piesting
http://www.wattdrive.com

Antriebskatalog
ABM Greifenberger, Marktredwitz
http://www.abm-antriebe.de

Literatur- und Quellenverzeichnis zu Kapitel 3

Feldschwächung bei Antriebsreglerantrieben bietet viele Vorteile
Joachim Schäfer
Fachartikel in der Antriebstechnik 36 (1997) Nr. 4

Moderne Stromrichterantriebe
Peter F. Bosch
ISBN 3-8023-0241-9
Vogel Verlag

Feldbussysteme im Vergleich
Robert Busse
ISBN 3-7905-0722-9
Pflaum Verlag

Positionieren mit Antriebsreglern durch Echtzeitverarbeitung, Teil 1
Joachim Schäfer
Fachartikel in der Antriebstechnik 1991, Nr. 3

Positionieren mit Antriebsreglern durch Echtzeitverarbeitung, Teil 2
Joachim Schäfer
Fachartikel in der Antriebstechnik 1991, Nr. 5

Forschungsbericht des ZVEI „Elektrische Belastung und Ausfallverhalten der Wickelisolierung von Asynchronmaschinen mit Antriebsreglerbetrieb“.
Berth, Eberhardt, Kaufhold, Speck, Auinger
Elektrie, H.8/9 (1995) S. 336

Frequenzumformer
Dr. Ing. P. F. Brosch
ISBN 3-478-93036-7
Verlag Moderne Industrie

Drehzahlvariable Antriebe für die Automatisierung
Peter F. Brosch
ISBN 3-8259-1904-8
Vogel Verlag

Tagungsbänder SPS/IPC/DRIVES
Elektrische Automatisierung
Herausgeber: Frauenhoferinstitut Stuttgart, TU München
Hütting Verlag

Motion Control
Peter F. Brosch
ISBN 3-478-93285-8
Verlag Moderne Industrie

Literatur- und Quellenverzeichnis zu Kapitel 4

Oberschwingungen
Albert Kloss
ISBN 0175-9965
VDE-Verlag

Frequenzumformer
Dr. Ing. P. F. Brosch
ISBN 3-478-93036-7
Verlag Moderne Industrie

Elektronische Gerätetechnik
Prof. Dipl.-Ing. Hans Brümmer
ISBN 3-8023-0610-4
Vogel-Verlag

Netzrückwirkungen
Hormann/Just/Schlabbach
Anlagentechnik für elektrische Verteilungsnetze (Bd, 14)
Rolf R. Cichowski (Hrsg.)
ISBN 3-8022-2231-3
VDE-Verlag

EMV-Fibel
für Elektroinstallateure und Planer
Wilhelm Rudolph
ISBN 3-8007-2613-0
VDE - Verlag

Grundsätze zur Beurteilung
von Netzrückwirkung
ISBN 3-8022-0311-9
VWEW Verlag

EMV nach VDE 0100
VDE-Schriftreihe Band 66
VDE-Verlag

ZVEI
EMV-Leitfaden
Elektrische Antriebe
www.zvei.de/antriebe

Literatur- und Quellenverzeichnis zu Kapitel 5

Oberschwingungen
Albert Kloss
ISBN 0175-9965
VDE-Verlag

Absicherung von Maschinen vor gefahrbringenden Bewegungen
Sicherheitsbezogene Teile von Maschinensteuerungen
Elan Schaltelemente GmbH & Co. KG
D-35435 Wettenberg
www.elan.de

Schutztechnik mit Isolationsüberwachung
Wolfgang Hofheinz
ISBN 3-8007-2215-1
VDE-Verlag

Schaltschrank Klimatisierung
Heinrich Styppa
ISBN 3-478-93080-4
Verlag Moderne Industrie

Elektronische Gerätetechnik
Prof. Dipl.-Ing. Hans Brümmer
ISBN 3-8023-0610-4
Vogel-Verlag

Netzrückwirkungen
Hormann/Just/Schlabbach
Anlagentechnik für elektrische Verteilungsnetze (Bd, 14)
Rolf R. Cichowski (Hrsg.)
VDE-Verlag, ISBN 3-8022-2231-3

EMV-Fibel
für Elektroinstallateure und Planer
Wilhelm Rudolph
ISBN 3-8007-2613-0
VDE-Verlag

Elektroinstallation und Betriebsmittel in explosionsgefährdeten Bereichen
Heinz Olenik u.a.
ISBN 3-8101-0130-3
Hüthig & Pflaum Verlag

Fehlerstrom Überwachung in elektrischen Anlagen
Wolfgang Hofhein
ISBN 3-8007-2422-7
VDE-Verlag

Dipl.-Ing. W. Bender GmbH & Co. KG
Londorfer Straße 65
35305 Grünberg
www.bender-de.com

ZVEI Automation
Anforderungen an moderne Steuerungssysteme für
Sicherheitsangaben an Maschinen
Neue Anschlusskennzeichnungen für drehende elektrische Maschinen
www.zvei.org

Grundsätze zur Beurteilung
von Netzrückwirkung
ISBN 3-8022-0311-9
VWEW Verlag

EMV nach VDE 0100
VDE-Schriftreihe Band 66
VDE-Verlag

ZVEI
EMV-Leitfaden
Elektrische Antriebe
www.zvei.de/antriebe

ELAN - Vortragsveranstaltungen 2005
Sicherheitsbezogene Teile von Maschinensteuerungen
Elan Schaltelemente GmbH & Co. KG
D-35435 Wettenberg
www.elan.de

Literatur- und Quellenverzeichnis zu Kapitel 6

Das 1x1 der Antriebstechnik
Friedrich Wilhelm Garbrecht - Joachim Schäfer
ISBN 3-8007-2005-1
VDE-Verlag

Elektrische Antriebstechnik
Heinz Stüben
ISBN 3-7736-0839-x
Verlag W. Girardet

Grundlagen der elektrischen Antriebstechnik mit Berechnungsbeispielen
Johannes Vogel
ISBN 3-7785-1547-0
VEB Verlag Technik

Literatur- und Quellenverzeichnis zu Kapitel Anhang

Das 1x1 der Antriebstechnik
Friedrich Wilhelm Garbrecht - Joachim Schäfer
ISBN 3-8007-2005-1
VDE-Verlag

Taschenbuch der Technik
T. Krist
ISBN 3-87807-124-8
Technik-Tabellen-Verlag

Der Drehstrommotor
Karl Falk
ISBN 3-8007-2078-7
VDE - Verlag

Elektrische Antriebstechnik
Heinz Stüben
ISBN 3-7736-0839-x
Verlag W. Girardet

Moderne Stromrichterantriebe
Peter F. Bosch
ISBN 3-8023-0241-9
Vogel Verlag

Klöckner Moeller Schaltungsbuch
Klöckner Moeller, Bonn

Elektromaschinen und Antriebe
Jahrbuch 2004
Dipl. Ing. Volkmar Christner
ISBN 3-8101-0181-8
Hüthig & Pflaum Verlag

Schutzmaßnahmen
bei Drehstromantrieben
Dipl. Ing. Helmut Greiner
ISBN 3-7785-2730-4
Hüthig Verlag Heidelberg

Präzisions-Getriebe für die Automation
Christian Mayr
ISBN 3-478-93032-4
Verlag Moderne Industrie

Getriebemotoren
Franz Josef Mack, Michael Wagner-Ambs
ISBN 3-478-93095-2
Verlag Moderne Industrie

DIN EN 61800-5-1
VDE 0160 Teil 105
Elektrische Leistungsantriebssysteme mit einstellbarer Drehzahl

Anhang D Stichwortverzeichnis

Numerics

70 Hz - Kennlinie mit 25% Feldschwächung . 3-111
87 Hz-Kennlinie/Erweiterter Stellbereich 3-115

A

Abhängigkeit der Motorgrößen bei
Antriebsreglerbetrieb (Openloop) 2-12
Abkürzungen 2-22
Ablaufprogramm 3-130
Ableitstrom von 1-phasigen Antriebsreglern ... 3-33
Ableitstrom von 3-phasigen Antriebsreglern ... 3-33
Ableitströme 3-32
Ableitströme der Antriebsregler 3-32
Abnahmen/Umweltbedingungen 3-5
Absolute Geber 2-66
Abstufung und Farbkennzeichnung der
Nennansprechtemperatur nach DIN44081 . A-69
Abtriebsdrehzahlen 2-83
Abwickelantrieb für Draht 3-138, 3-139
AC-3 Schütz 3-40
Allgemein
Antriebsleistung A-7
EN 60034-8 ..... A-87
Gesichtspunkte zur Motorauswahl 2-2
Leistungsanschlüsse 3-24
Technische Daten 2-19
Allstromsensitive Differenzstromüberwachung in
Personen- und Lastaufzügen 5-88
Allstromsensitive FI-Überwachung (RCM) in
geerdeten Systemen 5-85
Alte Lösung mit Gleichstromantrieb 1-6
Amplitude 2-72
Anbau von fremdgelagerten Gebern 2-73
Anforderung
Berührungsschutz A-94
für Staubschutz A-95
Wasserschutz A-95
Angaben
für Inbetriebnahme und Tests 2-57
Anlaufkennlinie 2-8
Anlaufkennlinie eines DS-Normmotors bei
Netzbetrieb 2-8
Anschluss von Sensorleitungen 2-82
Anschlußbeispiel 3-122
für ENMO 3-40
für stromloses Schalten 3-40
Anteil der oberwellenbedingten Ströme 4-4
Anteil der Oberwellenströme 5-18
Antriebs- und Mechanikfunktion 1-11
Antriebsauslegung
mit 50 Hz 3-111
mit 70 Hz 3-112
Antriebsbestimmung
über Leistungsauslegung 6-2
Antriebsleistungen in der Verfahrenstechnik ... A-11
Antriebsregler A-39
400/460 V Netze 3-99
für 230 V Netze 3-98
Antriebsreglergespeiste elektrische Antriebe ... 5-77
Antriebssystem 1-3
Antriebstechnische Gleichungen A-6
Anwendung der zukünftigen Normen 5-68
Anwendungsbeispiele Leistungsauslegung 6-2
Arbeit A-13
Arbeitsleistung
für Metallbearbeitungsmaschinen A-8
Asynchron - Servomotoren, Fremdkühlung A-77
Asynchron - Servomotoren, Selbstkühlung A-77
Aufbaurichtlinien für Schaltschränke 5-42
Aufgaben des Regelkreises A-48
Aufgabenstellung für eine neue Antriebseinheit . 1-6
Ausgangsspannungen 2-71
Auslegung der Leitungsquerschnitte 3-30
Auslösediagramm der PTC-Auswertung A-71
Außendurchmesser von Leitungen und Kabel A-101
Auswahl
DS-Sondermotoren 2-45
Geber 2-58
Getriebe 2-83

Motor 2-6
Motorbremsen 2-94
Planetengetriebe 2-91
Standard DS-Motoren 2-7
Standardgetriebe 2-84
Auswertung
Inkrementalgeber 2-62
von Gebern mit den C-line Drives 2-75
von Sinus/Cosinus-Gebern 2-65
Axial- und Radialkräfte 2-90

B

Bahnerzeugung im Raum 1-26
Bauform der LSH-Servomotoren 2-24
Bearbeitungsmaschinen 1-32
Beispiel
Drehstrombrücke 5-19
Prozessanalyse 1-5
Zweileiteranordnung Temperaturfühler A-89
Beispiel 1
Fahrantrieb 6-3
Beispiel 2
Hubantrieb 6-5
Beiwerte für Spurkranz und Seitenreibung A-33
Belastung des Versorgungsnetzes 3-23
Berechnen der wichtigsten Anwendungsdaten .. 2-6
Berechnung 4-12
der Filterlüfter 5-7
effektive Antriebsreglerauslastung 3-48
effektive Bremsleistung 4-11
effektive Leistung Schaltschrankoberfläche . 5-5
Spitzenbremsleistung 4-13
Wärmetauscher 5-8
Berechnungsbeispiel mit CDA34.014, C 5-11
Berechnungsfaktor Filterlüfter 5-7
Beschleunigungsverhalten
von DS-Normmotoren 2-16
Beschleunigungsverhalten DS-Normmotoren .. 2-16
Beschleunigungszeiten 2-17, 2-20
Beschreibung Sicherheits-Kategorien 5-52
Besondere Anwendungen 3-110
Bestimmung des Antriebsdrehmoments 2-87
Bestimmung von Querkräften A-36
Bestimmungsgemäße Verwendung 3-14
Betrieb am FI-Schutzschalter 3-31
Betriebskennlinie 2-8
Betriebskennlinie eines DS-Normmotors 2-8
Bewegung
über Seilrolle A-25
über Spindel A-25
über Transportrolle A-24
über Zahnstange A-25
Bewegungsanforderung 1-10
Bewegungslösung
Antriebs- und Mechanikfunktion 1-12
Bewegungslösung am Verarbeitungsprozess .. 1-11
Blindstromkompensationsanlage 5-22
Blinksignale A-106
Blockschaltbild
eines Antriebsreglers mit Bremschopper 4-8
Blockschaltbild eines U-Umformers 3-35
Bohrvorschubeinheit 3-131, 3-132
Bremswiderstand 4-8

C

CE-Kennzeichnung 3-5
c-line
Antriebsregler 0-1, 3-3
Antriebsreglersystem 3-98
Positionierregler 3-146
Servo- und Direktantriebsregler 3-150
c-line Drives
Antriebsregler 3-3
Codescheibe photoelektrisches Messprinzip ... 2-67
CSA-Certification 3-27
c-UL Abnahme 3-27
cUL-Approbation 3-5

D

Datenübertragung beim SSI-Absolutwertgeber 2-68
Datenvergleich von Reluktanzausführung zu
Asynchronausführung 2-48
DC-Verbundbetrieb 3-52, A-63
DC-Verbundbetrieb mit PTC-Vorladeschaltung A-66
Denken im System 1-2
Diagramm des PTC KTY 84-130 ..... A-72
Diagramm für Betriebsfaktoren 2-87
Dichte verschiedener Werkstoffe A-34
Drehgeberauswahl
FOR-Betrieb mit CDA3000 3-121

Drehmoment 1-14
in Abhängigkeit des Lastwinkels ... 2-47, 2-51
in Abhängigkeit des Lastwinkels bei der Synchronmaschine mit Schenkelpolläufer 2-51
in Abhängigkeit des Polradwinkels . 2-47, 2-51
Drehmomentanregelzeit 1-16
Drehmomente A-12
Drehsinn 3-38
Drehsinn und Anschlussbezeichnung 3-38
Drehsteifigkeit 2-92
Drehtisch mit exzentrischen Lasten A-27
Drehzahlistwertfilter A-61
Drehzahlsollwertfilter A-61
Drehzahlstellbereich 1-17
Dreiphasenwicklung
nach der neuen EN60034-8 ..... A-88
DS-Normmotor
1000 min-1, 50 Hz A-76
1500 min-1, 50 Hz A-75
3000 min-1, 50 Hz A-74
Dynamische Drehzahlgenauigkeit 1-20

E

E/A orientierte Prozesse 3-127
Effektive
Antriebsreglerauslastung 3-48, 3-53
Bremsleistung 4-11
Drehmomente von Motoren 2-5
Schaltschrankoberfläche 5-5
Effektives Motormoment/Leistung A-16
Effektivmoment A-18
Effektivwertmethode für eigenbelüftete DS-Normmotoren A-18
Eigenschaften der Drehstrommotoren A-85
Einbau von Gebern 2-73
Einfluss der Aufstellhöhe 2-3
Einfluss der Umgebungstemperatur 2-2
Einsatzgebiete von Drehstrommotoren 3-102
Einsatzgebiete von DS-Sondermotoren 2-45
Einsatzgebiete von Servomotoren 2-45
Elektrische Spezifikation der RS422-Schnittstelle am Antriebsregler der c-line-Drives 2-81
Elektromagnetische Verträglichkeit 3-6
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) und elektrische Antriebe 5-27
Elektronische Kurvenscheibe 1-28
Empfohlene Drehgebertypen 3-125
EMV-Abnahmen 3-5
EMV-Normung elektrischer Antriebe 5-28
Energie A-14
Erfassen der Bewegungsaufgabe 1-33
Ersatzschaltbild mit Gesamtverlustbilanz 2-11
Erweiterte Projektierung 4-24
Erweiterte Projektierungsregel 4-20
Extruder 1-5, 1-29

F

Farben von Leuchtmeldern A-106
Farbkennzeichnung eines Schwellwertes PTC . A-69
Farbkodierung für Drucktaster/Bedienteile ... A-105
Fehlerströme ohne Nulldurchgang 5-86
Fehlerstromüberwachung in elektrischen Anlagen mit elektrischen Antriebssystemen 5-83
Feldbus Positionierung 1-25
Feldorientierte Regelung (FOR) 3-104
Förderband in der Beschleunigungsphase mit einem mit Flüssigkeit gefüllten Behälter A-20
Förderband mit einem hohen Körper mit kleiner Aufstandfläche A-19
Förderband mit unbefestigtem Gegenstand beim Beschleunigen A-19
Fördermaschinen wie z. B. Schrägaufzüge 1-31
Formieren
der Zwischenkreiskondensatoren 3-35
der Zwischenkreiskondensatoren (ELKOS) . 3-36
Freifeldmessung zur Funkstörfeldstärke 5-41
Funkstörspannung und Funkstörfeldstärke (Boden ohne Absorber), HF-Einstrahlung 5-38
Funktionsanalyse 1-7

G

Geber mit SSI-Schnittstelle 2-68
Gebersysteme für die c-line-Drives 2-73
Gebläse, Lüfter, Kreiselpumpen 1-30
Gefahrenanalyse und Risikominderung 5-51
Genauigkeit der Drehzahlregelung in Abhängigkeit der Gebersysteme 1-19

Genauigkeit der Lageregelung in Abhängigkeit vom Gebersystem 1-23
Geometrische Zeichen A-3
Geregelte Prozesse 3-128
Geringe Motorverluste 3-144
Gesamtleistung berechnen 6-3
Geschwindigkeitsregelung 3-141
Getestete Geber am Umrichtermodul CDA3000 3-125
Grenzdrehzahl eines DS-Normmotors 2-9
Grenztemperatur des Isolierstoffs A-67
Grenztemperaturen elektrischer Maschinen der Zündschutzarten e und d 5-79
Grundausstattung der LSH Servomotoren 2-23
Grundbegriffe für die Berechnung 5-3
Grundprinzip der Lageregelung im c-line Antriebsregler 1-23
Grundprinzip der Moment-, Drehzahl- und Lageregelung A-58
Grundprinzip der sensorlosen Drehzahl (SFC) .. A-44
Grundsätzliches Messverfahren von FI-Schutzschaltern bzw. RCM/RCD 5-85

H

Hardware der RS422-Schnittstelle 2-80
Hebelarm der Rollreibung für verschiedene Werkstoffpaarungen A-34
Hebezeuge, Förderanlagen, Kolbenverdichter, Walzwerke 1-29
HF-Einkopplung auf Leitungen (Bild wurde von Prüfbericht P030941 übernommen) 5-39
Hiperface 2-70
Hochspannungstest/Isolationsprüfung 3-34
HTL-Signale mit Nullspur 2-61

I

Impulsdauermessung 2-63
Induktiver Widerstand A-38
Induktivität je Drosselstrang A-38
Inkrementalgeber 2-59
Inneres Moment 2-47
IP-Code Kennziffern und Buchstaben A-92
IT-, TN- und TT-Netzsystem 3-16

K

Kabellänge, Strom- und Spannungsverluste ... 3-42
Kabelverschraubungen A-100
Kenngrößen
von Arbeitsmaschinen 1-10
von DS-Normmotoren 2-8
von Hochfrequenz-Motoren 2-53
von LSH-Servomotoren 2-21
von Motorbremsen 2-94
von Planetengetrieben. 2-91
von Reluktanzmotoren 2-46
von Standardgetrieben 2-84
von Synchronmotoren mit Dämpferkäfig .. 2-50
Kennlinie
Betriebsarten 2-22
des P - Reglers A-53
Kippgrenze eines Fördergutes A-19
Kolbenmaschinen,
Exzenterpressen, Metallscheren 1-31
Kombiniertes Verfahren 2-63
Kompensation mit Oberschwingungserzeuger . 5-25
Kopiervorlage 1-33
Korrekturfaktoren A-104
Kraftfluss im Getriebe 2-86
Kreisteilungen und photoelektrisches Messprinzip bei inkrementellen Gebern 2-60
Kühlkonzepte 3-11
Kühlung der LSH-Servomotoren 2-24
Kurz- und Erdschlussfestigkeit 3-41
Kurzschlussspannung A-38

L

Lage des Slave-Antriebs ist nichtlineare Funktion der Lage des Master-Antriebs 1-28
Lagerbeanspruchung bei Antriebsreglerbetrieb 3-47
Lagerströme 3-47
Lastkennlinie
Bearbeitungsmaschinen 1-32
des Kunststoffextruders 1-6
Extruder 1-29
Fördermaschinen 1-31
Gebläse, Lüfter, Kreiselpumpen 1-30
Kolbenmaschinen, Exzenterpressen, Metallscheren 1-31
Mühlen 1-30

Lastmoment 1-29
Leistung A-7
Leistungsbedarf zur Bewegung der Anwendung bestimmen 6-3
Leistungsfähigkeit
der Motor-Regelverfahren des CDA3000 3-104
mit DS-Normmotor 3-104
Leistungsfaktor 4poliger DS-Normmotors 2-9
Linear PTC KTY-130-gel A-72
Losbrech- und Beschleunigungsmomente ... 3-106
Lösung
aus der Funktionsanalyse 1-7
aus der Prozessanalyse 1-8
Lösungsvergleich
„Funktionsanalyse zu Prozessanalyse“ 1-9

M

M/t-Diagramm 2-89
Massenträgheitsmomente A-22
Massenträgheitsmomente von Körpern A-22
Maßnahmen
zu Ihrer Sicherheit 3-13
zur Einhaltung der UL-Approbation 3-29
Mathematische Zeichen A-3
max. Beschleunigungszeiten von vierpoligen DS-Normmotoren 2-17
Max. zulässige Amplituden der Stromoberwellen 4-7
Maximal zulässiges Motor-Drehmoment 2-3
Mehraderleitungen 3-24
Mehrmotorenantrieb an einem Antriebsregler 3-118
Messaufbau 3-32, 4-27
Messaufbau für die Abnahme von elektrischen Antrieben 5-36
Messen am Antriebsregler 3-50
Messschaltung für einen U-Antriebsregler 3-51
Methoden der Verlegung A-104
Mindestquerschnitt des Schutzleiters 3-26
Minimale Drehzahlen bei Verwendung von Drehgebern verschiedener Strichzahl pro Umdrehung 3-125
M-n Kennlinie
eines DS-Normmotors 2-4
eines Synchron-Servomotors 2-4
für Asynchronmotoren 2-18
für Synchron Servomotoren 2-22
Moderne Bewegungsführung 1-24
Modulares Kühlkörperkonzept 3-11
Momentbildung von Motoren A-45
Momentenkennlinie 2-46
eines DS-Normmotors 2-14, 3-109
eines Reluktanzmotors bei Netzbetrieb 2-46
eines Synchronmotors mit Kurzschlusskäfig und Permanentmagneten 2-50
Synchronmotors mit Schenkelpolläufer 2-50
Motor auswählen 6-3
Motorauswahl 2-6
Motordaten
von Asynchron Servomotoren A-77
von DS-Normmotoren A-74
von EUSAS - Systemmotoren A-80
von schlanken Drehstrommotoren aus Alustrangpressprofil A-85
Motordrossel 4-19
Motoren A-67
Motoren der Zündschutzart „d“ 5-78
Motorfilter 4-22
Motorschutzmöglichkeiten 3-46, A-73
Mühlen 1-30
Multiple Listing 3-27

N

Näherungsbetrachtung 2-38
NC-Funktionalität für Werkzeugmaschinen 1-26
Netzanschlussleitung 3-25
Netzbedingungen 3-19
Netzbedingungen für Antriebsregler CDx3000 . 3-19
Netzdrossel 4-2, A-38
Netzdrossel zur Einhaltung der EN 61000-3-2 .. 4-7
Netzrückwirkungen von elektrischen Antrieben 5-16
Neue Anschlusskennzeichnungen für drehende elektrische Maschinen A-87
Norm EN 61000-3-2 4-7
Nutzen einer dreiphasigen Netzdrossel 4-4

O

Offline-Berechnung der Lagesollwert-Vektoren zur Beschreibung der Bahn 1-26
Optimierung des Lagereglers A-62
Optimierung des Reglers A-59

P

Parallelschaltung von zwei Widerständen 4-13
Pendel einer am Seil hängenden Last A-21
Physikalische Grundgleichungen A-6
Piktogramme 3-14
PLC-Firmware 3-127
PLC-Motion 1-25
Polpaare 2-16
Positionierfehler
bezogen auf die Motorwelle in ° 3-108
Positioniergenauigkeit mit Lageregelung im Antriebsregler/Servoregler 1-23
Positioniergenauigkeit mit Start-Stop-Betrieb 3-107
Positionierregler
für 230 V-Netze 3-147
für 400/460 V-Netze 3-148
Positionierung mit Sollwertgeber und Lageregelung in der Steuerung 1-22
Positionierung von A nach B 1-24
Positions-Istwert und Schleppfehler A-62
Praktische Arbeitshilfen für den Projekteur ... B-109
Praktische Erfahrung mit Spannungsbelastung 3-45
Praxis Tipps 2-85, A-60, A-61, A-62
Präzisierung der Drehrichtung A-89
Prinzipschaltbild HTL-Ausgangsschaltung 3-123
Programmierbeispiele für Anwendungen mit CDA3000-PLC 3-127
Projektierung 2-77
Projektierungs- und Installationsvorschrift 5-42
Projektierungshinweise 2-49, 2-52
Cold Plate 5-12
für Antriebssystem mit Reluktanzmotoren 2-49
für DC-Verbundbetrieb A-64
für Drehstrommotoren 3-103
für Mehrmotorenbetrieb 3-119
für permanentmagneterregte Motoren 2-52
Kabellänge, Strom-, Spannungsverluste .. 3-42
Prozessanalyse 1-5, 1-8

Q

Querkräfte A-36

R

Raumbedarf von Getrieben 2-86
Rechts-, Linkslauf 3-38
Reduktion
über zwei Getriebe A-24
Reduktion über ein Getriebe A-24
Reduktionsfaktoren für eigenbelüftete Motoren A-18
Reduzierung
der Netzrückwirkung 5-20
der Stromoberwellen durch CDA3000 3-145
Regelfunktionen vom Antriebsregler ohne Drehzahlrückführung A-43
Regelgüte A-55
Regeln zur Kennzeichnung von Hilfsklemmen . A-88
Regelstrecke A-48
Regelstruktur im Servoregler A-58
Regelung 3-41
Regelungstechnik Grundlagen A-48
Regelungstechnisches Blockschaltbild A-42
Regler A-52
Reibung A-15
Reibwerte
für Lagerreibung A-33
für Spindeln A-33
für Wälzlagerreibung A-33
verschiedener Werkstoffpaarungen A-34
Reihenschaltung von zwei Widerständen 4-13
Reißwolf mit Überlasterkennung 3-134, 3-135
Resolver 2-70
Resolverkomponenten 2-70
Resonanzfrequenz in Elektroenergienetzen 5-24
Richtlinien und EN-Normengruppe 5-49
RS422-Schnittstelle 2-80

S

Schaltbeispiel DC-Verbundbetrieb mit c-line Antriebsregler 3-52, A-63
Schalten im Antriebsreglerausgang 3-39
Schalten im Netzeingang 3-34
Schaltungsbeispiel „Schalten am Antriebsreglerausgang“ 3-39
Schema eines Extruders 1-5
Schematische Darstellung eines Krans mit anhängender Last A-21
Schematischer Aufbau und Ersatzschaltbild des Resolvers 2-71
Schematischer Aufbau von Antriebsreglergespeistem Antrieb im Ex-Bereich 5-77

Schnelle Transienten (Burst) auf Signal- und Datenleitungen 5-40
Schnelle Transienten (Burst) und energiereiche Impulse (Surge) auf die Netzleitung 5-39
Schnittstellen 2-80
Schutzart A-91
Betriebsmittel für USA und Kanada A-98
IP-Code nach IEC/EN A-91
nach EEMAC und Nema A-98
Sechzehn Maßnahmen zur EMV nach DIN VDE 0100 Teil 440 5-44
Sensorleitungen 2-82
Sensorless Flux Control (SFC) 3-104
Servoregler für 230 V Netze 3-151
Servoregler für 400/460 V Netze 3-151
Sicheren Halt anfordern
für Stillsetzen im Notfall 5-55
Sicherer Halt nach EN 954-1 Kategorie 3 5-53
Sicherheitsfunktionen 5-64
Sicherheitsfunktionen für Bewegungsführung . 5-64
Sicherheitstechnik für Maschinen mit elektrischen Antrieben 5-46
SI-Einheiten A-3
Signalpegel 2-80
der RS422-Schnittstelle 2-81
Simulation des Temperaturverlaufs 5-13
Sinus/Cosinus
Geber (SinCos) 2-64
Nullspur und invertierte Signale 2-65
Sollage des Slave-Antriebs ist lineare Funktion der Lage des Master-Antriebs 1-27
Spannungs- und Stromverhältnis im IT-System 3-18
Spannungsbelastung der Motorwicklung 3-45
Spannungseinbrüche 5-19
Spannungsverhältnisse im IT-Netzsystem 3-17
Spartransformator A-37
Spezifische Antriebsenergie für verschiedene Thermoplaste A-12
Sprungantwort der Drehzahl mit optimaler Überschwingweite von ca. 20 % A-60
Standard
Antriebsreglerbetrieb 3-109
Schnecken-Extruder 1-5
Start-/Stoppositionierung 1-21, 3-107
Stationäre
Ersatzschaltbilder der Asynchronmaschine A-39
Wärmeleitung durch eine Wand 5-9
Statische
Drehzahlgenauigkeit 1-18
Entladungen (ESD), Kontaktentladung 5-40
Stellbereich und Genauigkeit 1-14
Steuerklemmenbelegung Rotationsantrieb mit Geberauswertung 3-122
Stop-Kategorie 5-47
Störaussendung 5-37
Störfestigkeit 5-36
Störspektrum
einer 50 m geschirmten Motorleitung 4-27
einer 50 m ungeschirmten Motorleitung ... 4-28
Stoßmomente 2-91
Strahlungsleistung
Schaltschrankoberfläche 5-6
Strombelastbarkeit A-103
der Antriebsregler CDA3000 3-98
der Positionierregler CDE/CDB3000 3-146
der Servo- und Direktantriebsregler 3-150
Mehraderleitungen 3-24
PVC-isolierten Kupferleitungen A-103
von Mehraderleitungen 3-24
Stromverlauf mit gesteuerter Diodenbrücke 5-17
Synchron Servomotor
LSH-074 2-28
LSH-097 2-30
LSH-127 2-32
LSH-50 2-26
Synchronbewegung 1-27
Synchronmotor mit Kurzschlusskäfig und Permanentmagneten 2-50
Systematik der Gefahrenanalyse 5-51
Systemumfeld 1-4

T

Technische Daten 4-19, 4-22, A-79
Technische Daten für den Einbau A-100
Technische Daten Motoren A-86
Technologieschema 3-129
Theoretische Lebensdauer A-68
Thermische Eignung des Motors 2-5
Toleranzen für Werte von Induktionsmaschinen nach VDE 0530 2-10
Trägheitsmoment 1-13

TTL- und HTL-Geber 2-60
TTL-Signale mit Nullspur 2-61
Typenschild Antriebsregler mit Jahres und Monatsangabe 3-36
Typenschlüssel 3-4
Typenübersicht 2-59
Typische Genauigkeiten von Gebern 2-76
Typische max. Beschleunigungszeiten von Asynchron-Servomotoren 2-20

U

u/f-Kennlinie bei verschiedenen Lastzuständen A-41
u/f-Kennliniensteuerung (VFC) 3-104
u/f-Kennliniensteuerung/-regelung A-39
Überlastimpuls 3-49
Überschwappen einer Flüssigkeit A-20
Übersicht
Motordaten Servomotoren (LSH) A-79
Technische Daten A-79
wichtiger A-, B- und C-Normen 5-50
UL-Component Recognition 3-27
UL-Listing 3-27
Umgebungstemperatur, Montageart und Aufstellhöhe 2-6
Umrechnung
Translation in Rotation A-26
Translation in Rotation Mehrmotoren A-26
Umrechungsbeispiel
auf andere Motorkennlinie 2-37
Umweltbedingungen der Module 3-7

V

v/t-Diagramm 1-12, 2-88, A-29
für minimales Moment A-30
mit sin²-förmigem Verlauf A-31
VDE 5-81
Veränderung der Netzbelastung 3-23
Veränderung der Netzbelastung durch Einsatz einer Netzdrossel mit 4 % Kurzschlussspannung am Beispiel eines 4 kW Antriebsreglers 4-5
Verantwortlichkeit 3-15
Verdrehspiel 2-92
Verdrosselungsfaktoren 5-24
Vereinfachte Darstellung
der automatisch geregelten Zentral-kompensationsanlage 5-23
der Situation bei Antriebsreglerbetrieb 5-23
einer Einzelkompensation 5-22
Vereinfachtes Funktionsprinzip
der Asynchronmaschine A-47
der Gleichstrommaschine A-45
der permanenterregten Synchronmaschine A-46
Vergleich der Getriebeabtriebsdrehmomente, bei einer Antriebsauslegung mit 50 Hz und 70 Hz Kennlinie 3-113
Vergleich zwischen alter Lösung und der Lösung aus der Funktionsanalyse 1-7
Verkettete Fahrsatzpositionierung 1-25
Verknüpfung von Blockschaltbildelementen ... A-57
Verwendete Abkürzungen 2-22
Verwendete Prüfmittel 5-37
Vorgelege 2-85
Vorteile des Einsatzes der Antriebsregler mit „Sicherem Halt“ 5-63

W

Wahl der max. Beschleunigung A-19
Wahl des Antriebsreglers 2-34
Wahl des Bremswiderstandes 4-12
Wärmeabführung aus dem Schaltschrank 5-3
Wärmeklassen von Elektromotoren A-67
Wärmeklassen von Isolierstoffen 2-2, A-67
Wärmeübertragung durch Wärmeleitung 5-9
Wichtige Einheiten A-5
Widerstandsdiagramm
der Temperatur eines DIN-PTC A-70
der Temperatur eines PTC KTY 84-130 ... A-72
Widerstandswerte
eines DIN-PTC A-69
eines linearen PTC des Typs KTY 84-130 . A-72
Wirkung der Netzdrossel bei unsymmetrischer Netzspannung am Beispiel eines 4 kW Antriebsreglers 4-5
Wirkungsgrade von Übertragungselementen .. A-32
Wirkungsgrade, Reibwerte und Dichte A-32

Z

Zeitgesteuerte Prozesse 3-128
Zeitgesteuerter Kofferbandantrieb 3-129

Zugangssonden für die Prüfung des Berührungsschutzes im IP-System A-93
Zulässige Geber in Abhängigkeit vom Antriebsregler 2-75
Zulässige Grenz-Übertemperaturen für isolierte Wicklungen bei Dauerbetrieb nach DIN EN 0034-1 / VDE 0530 Teil 1 5-78
Zulässige Kombination aus Geber, Geberbauform und Motor 2-74
Zulässige Motorleitungslänge mit integriertem Netzfilter in Abhängigkeit der Norm 61800-3 4-14
Zulässige Motorleitungslänge mit externem Funkentstörfilter 4-16
Zulässige Motorleitungslänge mit internem Funkentstörfilter 4-14
Zündschutzarten nach EN 50014 ... 50039 (DIN VDE 0170/0171) 5-81
Zündschutzmaßnahmen 5-80
Zuordnung Antriebsregler mit externem Netzfilter 3-6
Zuordnung Geber-Motor 2-73
Zusatzeinrichtungen A-88
Zweikanalige Rechnerstruktur für die Sicherheitsfunktion einer Bewegungssteuerung 5-65
Zwischenkreiskondensatoren 3-35

LTi DRiVES GmbH

Gewerbestraße 5-9
35633 Lahnau

Germany

Fon +49 (0) 6441/ 966-0
Fax +49 (0) 6441/ 966-137

www.lt-i.com
info@lt-i.com

Technische Änderungen vorbehalten.

Der Inhalte unserer Dokumente wurden mit größter Sorgfalt zusammengestellt und entsprechen unserem derzeitigen Informationsstand.

Dennoch weisen wir darauf hin, dass die Aktualisierung dieses Dokuments nicht immer zeitgleich mit der technischen Weiterentwicklung unserer Produkte durchgeführt werden kann.

Informationen und Spezifikationen können zu jederzeit geändert werden. Bitte informieren Sie sich über die aktuelle Version unter:
http://drives.lt-i.com

Id.-Nr.: 0927.05B.2-00 • Stand: 02/2014